

**SISTEM PENGENDALI SUHU PADA PROSES PENGERINGAN BIJI
KAKAO BERBASIS ARDUINO UNO**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

memperoleh gelar Sarjana Teknik



JATI FEBRILANTONO

NIM. 135060300111072

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018



repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

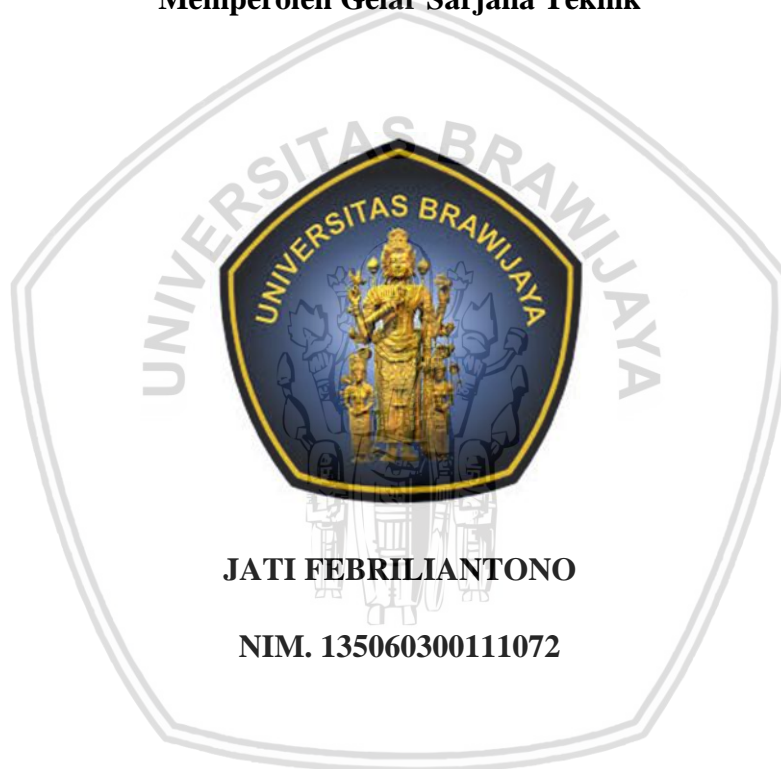
SISTEM PENGENDALI SUHU PADA PROSES PENGERINGAN BIJI

KAKAO BERBASIS ARDUINO UNO

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



JATI FEBRILIANTONO

NIM. 135060300111072

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dosen Pembimbing

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19730520 200801 1 013

Ir. Purwanto, M.T.
NIP.195404241986011001



PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Juli 2018
Mahasiswa,

JATI FEBRILANTONO
NIM. 135060300111072







*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Ayahanda dan Ibunda tercinta
Para Sahabat*



PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim. Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem pengendalian suhu pada proses pengeringan biji kakao berbasis arduino uno” dengan baik. Tak lepas shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi yang mengharapkan rahmat dan hidayah-Nya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

- Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan dan hidayah-Nya.
- Bapak dan Ibu tercinta, Bapak Djoko Argo Sasono dan Ibu Watini yang selalu memberikan kasih sayang dan do’a yang tak pernah putus.
- Adik tercinta, Fajar Hari Dwiono, yang selalu berbagi cerita, semangat, canda, dan tawa.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ibu Ir. Nurussa’adah, MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Kontrol Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan kesempatan, nasihat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan.
- Para Dosen Pengajar Program Studi Teknik Elektro Universitas Brawijaya, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bekal ilmu pada penulis dalam menyelesaikan studi dan sebagai bekal untuk mempelajari ilmu setelah lulus.
- Teman-teman asisten laboratorium Sistem Kontrol, terima kasih telah memberikan banyak bantuan dan canda tawa.

- Teman-teman skripsi, Azril, Idam, Pur, Rozaq, Rony, Sugab, Udin, Mebby, Adit, Muchzan, Shidqi, Wicak, Didit, Iqbal dan teman-teman yang lain yang selalu memberikan keceriaan.
- Ketua Angkatan 2013, Yovie sigit yang tidak lelah untuk terus membimbing selama pengerjaan skripsi.
- Teman-teman MIPA jurusan kimia yang telah bersedia memberikan bantuannya.
- Keluarga besar Teknik Kontrol 2013 dan Spectrum 2013 untuk dukungan dan semangat.
- Teman-teman kontrakan Pak Agus Jl.Pisang Agung 25b Dieng, yang selalu berbagi keceriaan.
- Semua pihak, yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Mei 2018

Penulis

RINGKASAN

Jati febriliantono, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Sistem Pengendali Suhu pada Proses Pengeringan Biji Kakao Berbasis arduino Uno*, Dosen Pembimbing: Purwanto.

Produksi kakao di Indonesia maupun di Negara penghasil lainnya dari tahun ke tahun terus meningkat hal ini telah melebihi kebutuhan konsumsi sehingga menyebabkan persaingan pasar meningkat. Sebagai komoditi yang bernilai komersil, mutu merupakan faktor yang penting dalam menentukan keberhasilan untuk merebut persaingan pasar kakao dunia. Faktor yang menentukan keberhasilan tinggi rendahnya mutu biji kakao adalah proses pengeringan. Pada proses pengeringan, suhu udara selain akan berpengaruh terhadap waktu pengeringan juga akan berpengaruh terhadap kualitas bahan yang akan dikeringkan. Namun suhu udara dapat berubah-ubah karena beberapa faktor, maka dengan dirancangnya alat menggunakan kontroler diharapkan mampu menjaga kestabilan suhu secara konstan. Sehingga tidak mengganggu proses pengeringan dan dapat digunakan di berbagai waktu agar mendapatkan hasil yang maksimal. Arduino Uno digunakan sebagai alat pengendali. Penelitian ini menggunakan kontroler PID. Suhu diatur sebesar 60°C , Perancangan kontroler PID pada suhu menggunakan metode pertama Ziegler-Nichols, didapatkan nilai parameter yang sesuai untuk sistem dengan nilai $K_p=23,13$, $K_i=0,6425$, $K_d=208,17$.

Kata Kunci: Biji Kakao, Arduino, PID.



SUMMARY

Jati Febriliantono, *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, Mei 2018, Temperature Control System on Cocoa Beans based Arduino Uno, Academic Supervisor: Purwanto.*

Cocoa production in Indonesia as well as in other producing countries from year to year continues to increase this has exceeded consumption needs, causing increased market competition. As a commercially valuable commodity, quality is an important factor in determining the success to seize the world cocoa market competition. Factors that determine the success of high quality of cocoa beans is the process of drying. In the drying process, temperature in addition will affect the drying time will also affect the quality of the material to be dried. But the temperature can vary due to several factors, then drummed with the tool using the controllers expected to maintain stability in constant temperature and humidity. So as not to interfere with the growth process and can be used at various times in order to get maximum results. Arduino Uno is used as a tool of control. This research uses a PID controller. Temperature set of 60°C, the design of PID controller in the temperature using the Ziegler-Nichols method, the corresponding parameter values are obtained for the system with a value of $K_p = 23.13$, $K_i = 0.6425$ $K_d = 208.17$.

Keywords: *Cocoa Beans, Arduino, PID.*



DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	i
RINGKASAN.....	iii
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistematika tanaman kakao.....	5
2.2 Pengolahan biji kakao	5
2.3 Arduino Uno	7
2.4 Pulse Width Modulation (PWM).....	9
2.5 Lampu pijar.....	9
2.6 Kipas Angin DC 12 V.....	10
2.7 Sensor Suhu DHT22	11
2.8 Kontroler	11
2.8.1. Kontroler Proporsional (P)	12
2.8.2. Kontroler Integral (I).....	12
2.8.3. Kontroler Differensial (D).....	13
2.8.4. Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)	14
2.9. Metode Ziegler-Nichols	14
2.10. Relay	17

BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Spesifikasi Alat.....	19
3.2 Perancangan Alat.....	20
3.2.1 Perancangan Blok Diagram Sistem	21
3.2.2. Deskripsi Cara Kerja Sistem.....	21
3.3 Karakterisasi Setiap Blok	22
3.3.1 Karakterisasi Driver L298N.....	22
3.3.2. Karakterisasi Sensor Suhu DHT22	24
3.3.3. Karakterisasi Plant	25
3.4. Perancangan Kontroler	27
3.5. Perancangan Perangkat Keras	29
3.6. Perancangan Algoritma	29
3.6.1. Flowchart Pembacaan Sensor Suhu	29
3.6.2. Flowchart Perhitungan Parameter PID	30
3.6.3. Flowchart Keseluruhan Sistem.....	30
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Pengujian Keseluruhan Sistem	31
4.2 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan ketika diberi Gangguan.....	32
4.3 Pengujian Kadar Air	33
4.4 Hasil Perbandingan.....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Buah dan biji kakao	6
Gambar 2.2 Arduino Uno	7
Gambar 2.3 Sinyal PWM	9
Gambar 2.4 Kipas Angin DC 12V.....	10
Gambar 2.5 Sensor DHT22	11
Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Proporsional	12
Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Integral.....	13
Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Differential	13
Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler PID.....	14
Gambar 2.10 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% Maximum Overshoot. ...	15
Gambar 2.11 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step.....	15
Gambar 2.12 Kurva Respon yang Berbentuk S.....	15
Gambar 2.13 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional.....	17
Gambar 2.14 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode Pcr	17
Gambar 2.15 Rangkaian relay pada modul	18
Gambar 3.1 Blok diagram sistem keseluruhan.....	21
Gambar 3.2 Rangkaian pengujian karakterisasi driver motor L298N.....	22
Gambar 3.3 Grafik Pengujian Driver Motor DC L298N.....	23
Gambar 3.4 Grafik Hubungan Pembacaan Termometer dengan Sensor DHT22.....	25
Gambar 3.5 Rangkaian pengujian karakterisasi plant	25
Gambar 3.6 Grafik karakteristik box pengering.....	26
Gambar 3.7 Kurva Respon yang Berbentuk S (Ogata, K. 1997)	27
Gambar 3.8 Grafik Penentuan K_p , K_i , K_d	28
Gambar 3.9 Skema Perangkat keras	29
Gambar 3.10 Flowchart Pembacaan Sensor Suhu.....	29
Gambar 3.11 Flowchart Perhitungan Parameter PID	30
Gambar 3.12 Flowchart Keseluruhan Sistem	30
Gambar 4.1 Grafik Respon Sistem.....	31
Gambar 4.2 Grafik respon sistem ketika diberi gangguan	32

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno	8
Tabel 2.2 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plan	16
Tabel 2.3 Aturan Dasar Ziegler-Nichols berdasarkan Critical Gain Kcr dan Critical Period Pcr.....	17
Tabel 3.1 Hasil Pengujian Driver Motor DC L298N	23
Tabel 3.2 Perbandingan Pembacaan Sensor Suhu dengan Termometer	24
Tabel 3.3 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K, 1997)	28
Tabel 4.1 Perbandingan hasil kadar air	34







BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Semakin majunya dunia teknologi pada era Globalisasi saat ini memberikan dampak positif pada perkembangan dunia elektronik khususnya di bidang sistem kontrol. Hal ini disebabkan karena adanya kebutuhan manusia yang makin lama makin banyak dan harus didapatkan dalam waktu secepat mungkin.

Kemajuan teknologi memberikan dampak positif pada sektor pengolahan bahan makanan. Dengan kemajuan teknologi manusia sudah tidak lagi memerlukan waktu yang lama dalam proses pengolahan, dengan menggunakan mesin pengolahan yang bekerja secara otomatis dan lebih cepat jika dibandingkan dengan manusia. Sehingga dapat menghemat waktu, biaya, dan tenaga.

Dalam perkembangan teknologi yang semakin hari semakin maju masih terdapat banyak kendala, khususnya di Indonesia, perkembangan teknologi di Indonesia pada saat ini masih belum bisa tersebar secara menyeluruh, khususnya pada sektor pengolahan bahan makanan yang masih banyak menggunakan cara tradisional tanpa bantuan alat atau mesin pengolahan. Khususnya pada pengeringan biji kakao untuk diolah sebagai bahan dasar makanan coklat.

Produksi kakao di Indonesia maupun di negara penghasil lainnya dari tahun ke tahun terus meningkat hal ini telah melebihi kebutuhan konsumsi sehingga menyebabkan harga cenderung merosot dan persaingan pasar meningkat (Statistik Perkebunan Indonesia, 1998). Sebagai komoditi yang bernilai komersial, mutu merupakan faktor yang penting dalam menentukan keberhasilan untuk merebut persaingan pasar kakao dunia. Banyak faktor yang menentukan keberhasilan tinggi rendahnya mutu biji diantaranya adalah teknologi pasca panen (Wardoyo, 1991).

Sebelum biji kakao diperdagangkan, terlebih dahulu mengalami beberapa tahap pengolahan yaitu pemecahan kulit buah, fermentasi, perendaman, pencucian, pengeringan, sortasi, pemutuan dan pengepakan (Soenaryo dan Manurung, 1978). Salah satu dari tahap pengolahan ini memerlukan penanganan yang cukup penting adalah proses pengeringan.

Pada proses pengeringan, suhu udara selain akan berpengaruh terhadap waktu pengeringan, juga akan berpengaruh terhadap kualitas bahan yang akan dikeringkan. Dalam pengeringannya, masyarakat masih menggunakan cara tradisional dengan cara menjemur biji kakao di bawah sinar matahari secara langsung (sun drying) yang banyak digunakan ditingkat petani maupun perkebunan besar. Beberapa kendala dari pengeringan ini adalah sangat tergantung pada cuaca yang kadang masih berubah-ubah sehingga proses pengeringan menghabiskan waktu yang panjang serta dapat terkontaminasi atau tercampur bahan asing atau kotoran pada saat proses pengeringan. Hal ini sangat berpengaruh terhadap mutu dari biji kakao itu sendiri (Hasan, 1993).

Berdasarkan permasalahan yang timbul pada proses pengeringan biji kakao, maka penulis ingin membuat alat pengering yang dapat membuat proses pengeringan biji kakao dapat dilakukan tanpa harus bergantung dengan cuaca dan panas matahari serta alat yang lebih dapat menjaga mutu dari biji kakao itu sendiri.

Sistem pengendalian suhu pada alat pengeringan biji kakao menggunakan kontroler PID berbasis Arduino Uno. Proporsional Integral Differensial (PID) adalah kontroler yang merupakan gabungan dari kontroler Proporsional, kontroler Integral, dan kontroler Differensial. Gabungan dari ketiga kontroler ini diharapkan dapat memberikan keluaran sistem yang stabil dimana masing-masing kontroler bisa saling melengkapi satu dengan yang lainnya. Keuntungan dari kontroler PID adalah merupakan sebuah sistem yang sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil sebuah keputusan. Diharapkan dengan menggunakan kontroler PID berbasis Arduino Uno suhu pengeringan biji kakao dapat dikendalikan dengan baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem pengendalian suhu pada pengeringan biji kakao menggunakan PID ?
2. Bagaimana merancang program pengontrolan suhu pada alat pengeringan biji kakao menggunakan PID ?

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya objek pengkajian sehingga perlu adanya pembatasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah:

1. Setpoint suhu adalah 60°C
2. Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu menggunakan kontroler PID
3. Menggunakan lampu pijar sebagai pemanas alat pengering biji kakao
4. Sensor yang digunakan DHT22
5. Menggunakan Arduino Uno sebagai komponen rangkaian kontroler.

1.4 Tujuan

Untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil produksi kakao dengan menggunakan kontroler PID berbasis arduino uno.

1.5 Manfaat

Mendapatkan biji kakao yang bermutu dengan menjaga suhu pada saat pengeringan dan meningkatkan hasil produksi karena tidak tergantung oleh cuaca, produksi biji kakao menjadi lebih cepat dengan hasil yang terbaik.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan tinjauan pustaka yang berhubungan dengan penelitian ini, meliputi teori tentang biji kakao, serta teori mengenai komponen yang berkaitan dengan penelitian.

2.1 Sistematika tanaman kakao

Tanaman kakao termasuk marga *Theobroma*, suku dari *Sterculiaceae* yang banyak diusahakan oleh para pekebun, perkebunan swasta dan perkebunan negara. Menurut Sunanto (1992), jenis tanaman kakao yang terkenal ada tiga, yaitu :

1. Jenis Criollo, yang terdiri dari Criollo Amerika Tengah dan Criollo Amerika Selatan. Jenis ini menghasilkan biji kakao yang mutunya sangat baik dan dikenal sebagai coklat mulia, *fine dan flavour cocoa*, *choiced cocoa*, *edel cocoa*. Buahnya berwarna merah atau hijau, kulit buahnya tipis dan berbintil bintil kasar dan lunak. Biji buahnya berbentuk bulat telur dan berukuran besar dengan kotiledon berwarna putih pada waktu basah.
2. Jenis Forastero, menghasilkan biji coklat yang mutunya sedang (*bulk cacao*) atau juga sebagai *ordinary cocoa* (*lindak cacao*). Buahnya berwarna hijau dan kulitnya tebal. Biji buahnya tipis atau gepeng dan kotiledon berwarna ungu pada waktu basah.
3. Jenis Trinitario, merupakan campuran atau hybrida dari jenis Criollo dengan jenis Forastero secara alami, sehingga jenis ini menghasilkan biji yang termasuk *fine flavour cocoa* dan ada yang termasuk *bulk cocoa*.

2.2 Pengolahan biji kakao

Pengolahan biji kakao di perkebunan biasanya hanya sampai pada biji kakao kering. Mutu biji kakao kering yang dihasilkan selain dipengaruhi oleh kondisi pengolahan, juga dipengaruhi oleh jenis buah kakao, kematangan buah dan peralatan yang digunakan sejak dari kebun sampai ke tempat pengolahan (Wood dan Lass, 1985).



Gambar 2.1 Buah dan biji kakao

Pengolahan biji kakao meliputi pemecahan kulit buah, fermentasi, perendaman, pencucian, pengeringan, sortasi, pemutuan dan pengepakan. Sebelum biji kakao dibuat menjadi bubuk (*cocoa powder*), terlebih dahulu disangrai (*roasted*) (Siregar, 1989)

Setiap tahap dalam proses penanganan biji kakao mempunyai peranan yang penting untuk mendapatkan biji kakao yang bermutu baik. Pengeringan dapat dikatakan sebagai kunci dalam penanganan pasca panen kakao. Wahyu (1995) mengatakan calon aroma kakao terbentuk pada pengeringan biji kakao dengan kadar 6 – 7 persen. Pada kondisi ini biji kakao tidak ditumbuhi cendawan baik permukaan maupun isinya.

Pengeringan adalah suatu proses pengeluaran sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut menggunakan energi panas. Kadar air bahan tersebut dikurangi sampai suatu batas agar mikroba tidak tumbuh lagi di dalamnya (Muhtadi, 1997)

Kadar air biji kakao sekitar 60 persen. Menurut Wood (1983) kadar air yang baik untuk biji kakao adalah 6 - 7 persen yang dicapai melalui proses pengeringan, baik pengeringan dengan penjemuran maupun buatan.

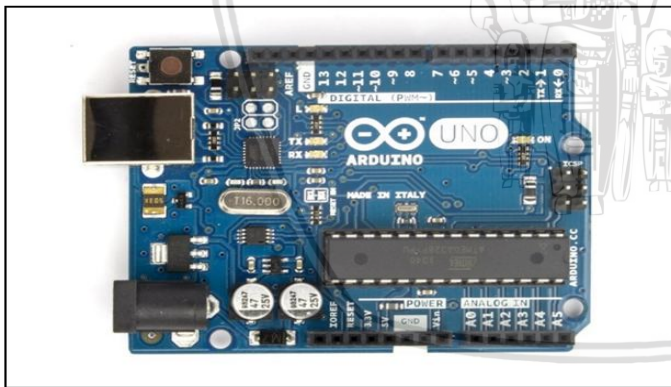
Menurut Wahyu (1995) menjelaskan bahwa suhu optimum pengeringan adalah 60⁰ C dengan kelembaban relatif 16°C sesuai dengan kondisi iklim rata-rata Indonesia. Sedangkan untuk kecepatan aliran udara optimum adalah 0.1 m/dt.

2.3 Arduino Uno

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengendali rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program di dalamnya. Dengan kata lain, mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai input dan output serta kontrol dengan program yang bisa ditulis dan dihapus. Cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data. Mikrokontroler digunakan dalam produk dan alat yang dikendalikan secara otomatis.

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis Atmega328. Memiliki 14 pin input dan output digital, dimana 6 pin diantara pin tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor AC-DC untuk menjalankannya.

“Uno” berarti “satu” dalam Bahasa Italia dan nama ini diberikan untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Arduino Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi Arduino. Tampilan fisik Arduino Uno dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2 2 Arduino Uno

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan Operasi	5 Volt
Input Voltage (disarankan)	7 - 12 Volt
Input Voltage (batas akhir)	6 - 20 Volt
Digital I/O Pin	14 (6 pin sebagai output PWM)
Analog Input Pin	6
Arus DC per pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB (0,5 KB untuk bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

Masing-masing dari 14 pin UNO dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan perintah fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()` yang menggunakan tegangan operasi 5 volt. Tiap pin dapat menerima arus maksimal hingga 40mA dan resistor internal pull-up antara 20-50kohm.

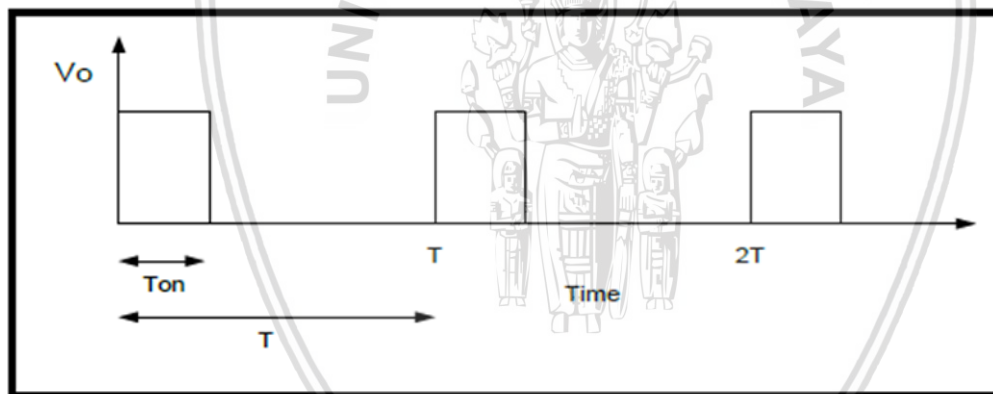
- 1) Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Sebagai penerima (RX) dan pemancar (TX) TTL serial data. Pin ini terkoneksi untuk pin korespondensi chip ATmega8U2 USB-toTTL Serial.
- 2) External Interrupts: 2 dan 3. Pin ini berfungsi sebagai konfigurasi trigger saat interupsi value low, naik, dan tepi, atau nilai value yang berubah-ubah.
- 3) PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Melayani output 8-bit PWM dengan fungsi `analogWrite()`.
- 4) SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin yang support komunikasi SPI menggunakan SPI library.

- 5) LED: 13. Terdapat LED indikator bawaan (built-in) dihubungkan ke digital pin 13, ketika nilai value HIGH led akan ON, saat value LOW led akan OFF.

Arduino Uno memiliki 6 analog input tertulis di label A0 hingga A5, masing-masingnya memberikan 10 bit resolusi (1024). Secara asal input analog tersebut terukur dari 0 (ground) sampai 5 volt, itupun memungkinkan perubahan teratas dari jarak yang digunakan oleh pin AREF dengan fungsi `analogReference()`.

2.4 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah salah satu jenis modulasi. Modulasi PWM dilakukan dengan cara mengubah lebar pulsa dari suatu pulsa data. Total 1 periode (T) pulsa dalam PWM adalah tetap, dan data PWM pada umumnya menggunakan perbandingan pulsa positif terhadap total pulsa. Pada sinyal PWM, frekuensi sinyal konstan sedangkan duty cycle bervariasi dari 0%-100%. Dengan mengatur duty cycle akan diperoleh output yang diinginkan. Duty cycle adalah besarnya sinyal kontrol yang diberikan pada plant. Sinyal PWM secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sinyal PWM

$$\text{Duty Cycle} = \frac{T_{on}}{T} \times 100\% \quad (2-1)$$

dimana:

T_{on} = periode logika tinggi

T = periode

2.5 Lampu pijar

Pada alat ini, lampu pijar digunakan sebagai pemanas karena tidak dibutuhkan suhu yang terlalu tinggi. Lampu pijar adalah sumber cahaya buatan yang dihasilkan melalui penyaluran arus listrik melalui filamen yang kemudian memanaskan dan menghasilkan cahaya.

Kaca yang menyelubungi filamen panas tersebut menghalangi udara untuk berhubungan dengannya sehingga filamen tidak akan langsung rusak akibat teroksidasi.



Gambar 2.4 Lampu pijar

2.6 Kipas Angin DC 12 V

Kipas angin (*fan*) adalah perangkat mekanis yang digunakan untuk membuat aliran gas kontinu seperti udara. Dalam setiap sistem pendingin, yang menggunakan gas sebagai penghantar, kipas angin adalah unit wajib yang menciptakan aliran udara dalam sistem. Sistem ini dapat dilihat dalam kipas angin sederhana yang digunakan di rumah tangga atau kipas pendingin eksternal untuk mesin pembakaran internal. Kipas angin biasanya terdiri dari baling-baling atau pisau tetap ke sebuah hub, biasanya disebut impeller. Mekanisme penggerak seperti motor atau drive belt akan terhubung untuk menciptakan gerak rotasi impeller. Mekanisme gerak bisa diatur sehingga alirannya bias sentrifugal atau aksial. Fan aksial meniup gas sepanjang sumbu rotasi, sedangkan fan sentrifugal meniup gas radial keluar dari sumbu impeller.



Gambar 2.4 Kipas Angin DC 12V

2.7 Sensor Suhu DHT22

Sensor suhu DHT22 merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis yang berupa suhu menjadi besaran elektris tegangan. Spesifikasi teknis sensor DHT22 :

- Rentang catu daya 3,3 – 6 Volt DC (tipikal 5 VDC)
- Konsumsi arus pada saat pengukuran antara 1 hingga 1,5 mA
- Sinyal Keluaran: digital lewat *bus* tunggal dengan kecepatan 5 ms / operasi (*MSB-first*)
- Jenis sensor : Kapasitif
- Rentang deteksi suhu : -40 °C / 125°C

Pada gambar 2.7 dijelaskan tentang sensor yang digunakan memiliki tiga pin keluaran yaitu pin GND, pin VCC dan pin Data. Pada pin-pin tersebut memiliki fungsi masing-masing yang dapat dikontrol melalui mikrokontroler.

DHT22 pins	
1	VCC
2	DATA
3	NC
4	GND



Gambar 2.5 Sensor DHT22

2.8 Kontroler

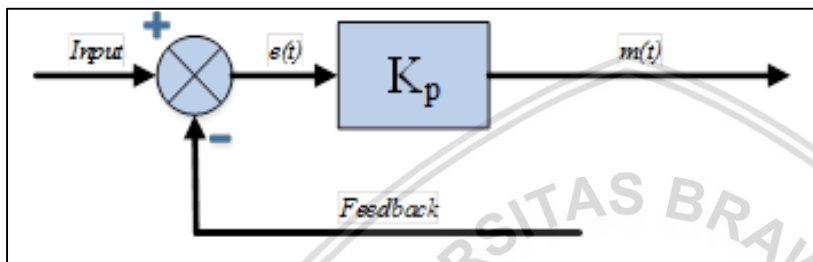
Kontroler dalam sebuah sistem kontrol mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Hal itu disebabkan oleh tidak dapat dirubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik plant harus diterima sebagaimana adanya, perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan kontroler.

Salah satu fungsi kontroler adalah mengurangi sinyal error, sinyal error adalah perbedaan nilai setpoint dengan nilai output plant. Setpoint adalah nilai referensi atau nilai yang diinginkan, sedangkan output plant adalah nilai aktual yang terukur pada output plant. Semakin kecil nilai sinyal error maka kinerja sistem kontrol dinilai semakin baik.

Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai output plant dengan nilai setpoint, menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan error (Ogata K, 1997).

2.8.1. Kontroler Proporsional (P)

Kontroler proportional memiliki output yang besarnya sebanding dengan besarnya sinyal error. Output kontroler merupakan perkalian antara penguatan proporsional dengan sinyal error. Gambar 2.7 menunjukkan diagram blok kontroler proportional dan Persamaan 2-2 menunjukkan hubungan antara output kontroler dengan sinyal error.



Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler Proportional

Sumber: Ogata K.,1997: 201

$$m(t) = K_p e(t) \quad (2-2)$$

dimana:

K_p = adalah penguatan proporsional

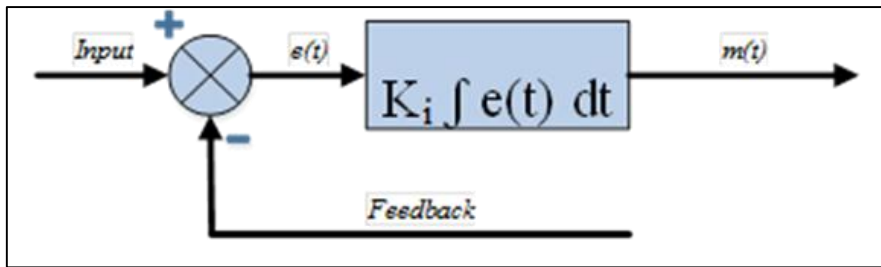
$e(t)$ = sinyal error

$m(t)$ = output kontroler

Penambahan K_p akan mempercepat kecepatan respon transient dan mengurangi kesalahan keadaan mantap.

2.8.2. Kontroler Integral (I)

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti sebuah operasi integral, output kontroler dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan perubahan nilai sinyal error. Output kontroler merupakan penjumlahan terus menerus dari perubahan sinyal error. Gambar 2.8 menunjukkan diagram blok kontroler integral dan Persamaan 2-3 menunjukkan hubungan antara output kontroler dengan sinyal error.



Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Integral

Sumber: Ogata K., 1997: 202

$$m(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2-3)$$

dimana:

K_i = adalah penguatan integral

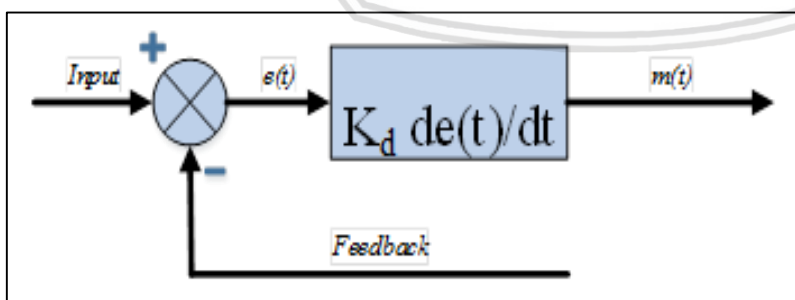
$e(t)$ = sinyal error

$m(t)$ = output kontroler

Aksi kontrol integral digunakan untuk menghilangkan sinyal error dalam keadaan mantap.

2.8.3. Kontroler Differensial (D)

Kontroler differensial memiliki perubahan yang mendadak pada masukan kontroler mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Kontroler ini tidak akan menghasilkan output saat sinyal error konstan sehingga tidak akan mempengaruhi keadaan mantap. Gambar 2.9 menunjukkan diagram blok kontroler derivative dan persamaan 2-4 menunjukkan hubungan antara output kontroler dengan sinyal error.



Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Differential

Sumber: Ogata K., 1997: 203

$$m(t) = K_d (de(t)/dt) \quad (2-4)$$

dimana:

K_d = adalah penguatan derivative

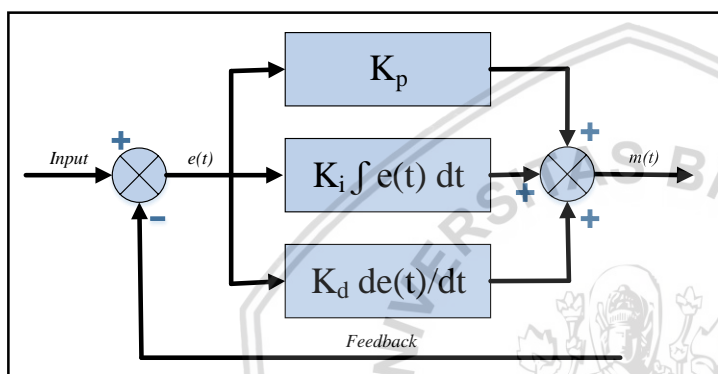
$e(t)$ = sinyal error

$m(t)$ = output kontroler

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transient.

2.8.4. Kontroler Proporsional Integral Derensial (PID)

Gabungan aksi kontrol proportional, integral, dan derivative yang terlihat dalam Gambar 2.10 mempunyai keunggulan dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan sebagai berikut (Persamaan 2-5):



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler PID

Sumber: Ogata K., 1997: 204

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2-5)$$

dimana:

K_p = adalah penguatan proportional

K_i = adalah penguatan integral

K_d = adalah penguatan derivative

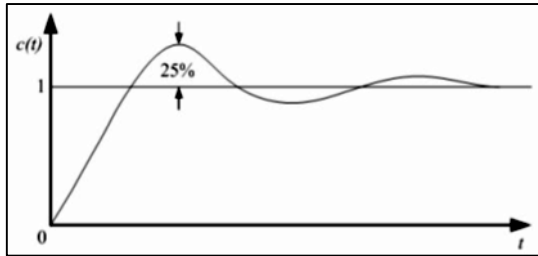
$e(t)$ = sinyal error

$m(t)$ = output kontroler

2.9. Metode Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari plant yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan. (Ogata, K., 1997)

Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% maximum overshoot pada respon unit step, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11.

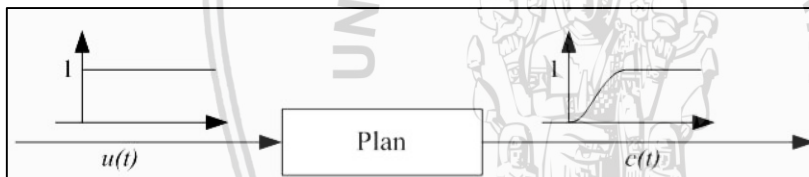


Gambar 2.10 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% Maximum Overshoot.

Sumber: Ogata, K., 1997

a. Metode Pertama

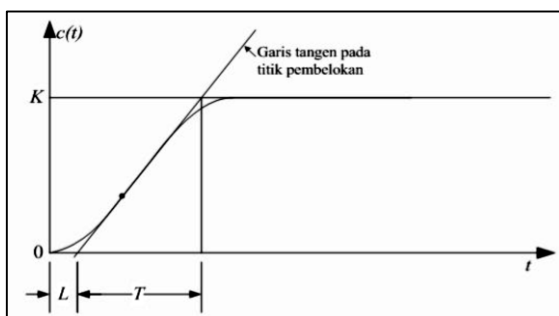
Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plan dapat dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit step, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12



Gambar 2.11 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step.

Sumber: Ogata, K. 1997

Jika dalam plan tersebut terdapat integrator atau dominan complex-conjugate poles, maka kurva respon unit step berbentuk seperti huruf S, seperti dalam Gambar 2.13 jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku.(Ogata, K., 1997).



Gambar 2.12 Kurva Respon yang Berbentuk S

Sumber: Ogata, K. 1997

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S , dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.13 Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan (2-6) sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \quad (2-6)$$

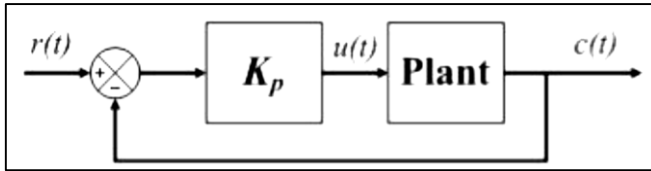
Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plan

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

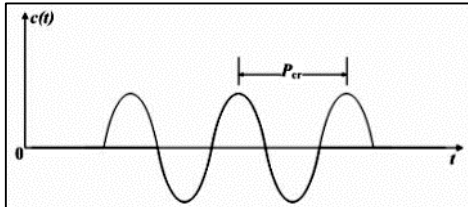
b. Metode Kedua

Dalam metode kedua ziegler-nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (Jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan. Diagram blok sistem loop tertutup dengan kontroler proporsional dapat dilihat dalam Gambar 2.14. dan untuk osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr} dapat dilihat dalam gambar 2.15. Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , T_d dan berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam Tabel 2.3 (Ogata, K., 1997).



Gambar 2.13 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional

Sumber: Ogata, K., 1997



Gambar 2.14 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode Pcr

Sumber: Ogata, K., 1997

Tabel 2 3 Aturan Dasar Ziegler-Nichols berdasarkan Critical Gain Kcr dan Critical Period Pcr

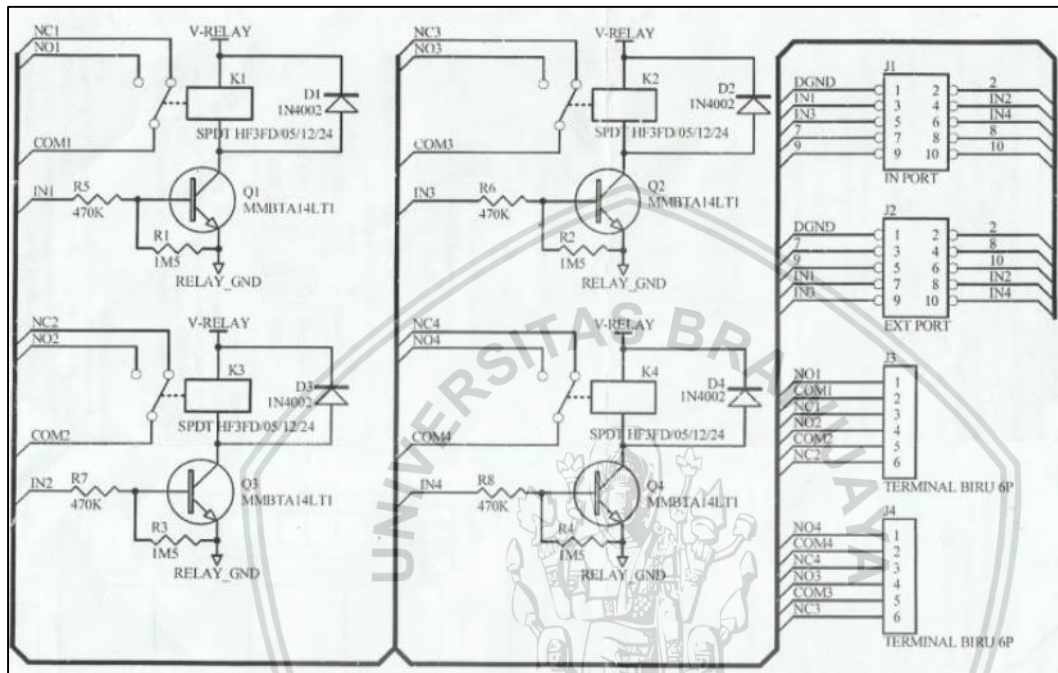
Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.60 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

2.10. Relay

Relay adalah saklar mekanik yang dikendalikan atau dikontrol secara elektronik (elektro magnetik). Saklar pada relay akan terjadi perubahan posisi OFF ke ON pada saat diberikan energi elektro magnetik pada relay tersebut. Relay pada dasarnya terdiri dari 2 bagian utama yaitu saklar mekanik dan sistem pembangkit elektromagnetik (induktor inti besi). saklar atau kontaktor relay dikendalikan menggunakan tegangan listrik yang diberikan ke induktor pembangkit magnet untuk menarik armatur tuas saklar atau kontaktor relay. Relay yang ada dipasaran terdapat berbagai bentuk dan ukuran dengan tegangan kerja dan jumlah saklar yang bervariasi.

Pada alat yang dirancang ini menggunakan relay dengan tipe Single Pole Double Throw (SPDT) dengan tegangan 5 V, relay ini memiliki 5 terminal yaitu terdiri dari 2

terminal untuk input kumpulan elektromagnetik dan 3 terminal saklar. relay jenis ini memiliki 2 kondisi NO dan NC. Pada gambar 4 menjelaskan tentang bagaimana rangkaian dari relay yang digunakan. Pada gambar 4 menggunakan komponen relay sebanyak empat buah dengan tipe SPDT. Jadi pada modul relay yang digunakan dapat menghasilkan empat kemungkinan kondisi on atau off. Berikut adalah rangkaian untuk modul relay yang digunakan pada perancangan alat :



Gambar 2.15 Rangkaian relay pada modul

BAB III

METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut :

1. Penentuan spesifikasi alat
2. Perancangan dan pembuatan alat
3. Deskripsi cara kerja sistem
4. Karakteristik setiap blok
5. Pembuatan perangkat keras
6. Perancangan Algoritma

Perancangan algoritma meliputi perancangan kontroller PID dan flowchart program

3.1 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara keseluruhan harus ditentukan terlebih dahulu agar didapatkan kinerja sistem yang efektif dan sesuai yang diinginkan. Spesifikasi alat yang akan direalisasikan sebagai berikut :

1. Alat pengering biji kakao yang digunakan memiliki panjang 40 cm, lebar 40 cm dan tinggi 50 cm dengan bahan kayu yang kemudian dilapisi aluminium
2. Sensor suhu yang digunakan adalah DHT22
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno
4. Kontroler yang digunakan PID
5. Software yang digunakan untuk pemrograman Arduino 1.8.2
6. Aktuator berupa 2 buah lampu pijar 100 watt, dan 2 buah kipas DC
7. Nilai dari M_p (maximum overshoot) dan E_{ss} (error steady state) tidak melebihi 5%
8. Kadar air dari biji kakao setelah dipanaskan adalah 6% - 7%
9. Lama waktu pemanasan biji kakao adalah 16 jam

3.2 Perancangan Alat

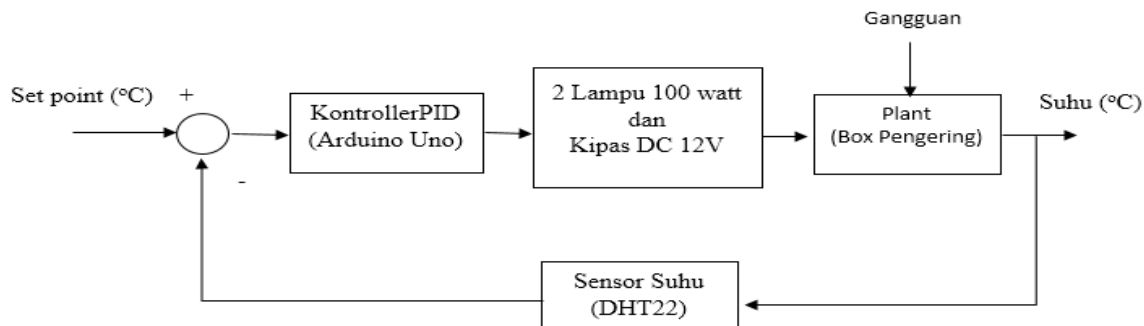
Perancangan ini bertujuan untuk menjelaskan cara kerja alat secara keseluruhan sehingga memudahkan dalam proses perancangan alat pengering biji kakao. Sensor suhu diletakan di dalam alat pengeringan yang akan membaca kondisi suhu, kemudian memberikan sinyal informasi. Sensor suhu yang digunakan adalah sensor suhu DHT22 yang memiliki keluaran Digital. *Output* sensor berupa informasi yang dapat langsung dikirim ke mikrokontroler Arduino Uno, kemudian diolah dan diproses menggunakan kontroler PID. Suhu didalam alat pengering biji kakao dijaga konstan pada setpoint 60°C dengan memanfaatkan 2 buah lampu pijar 100 watt, 2 kipas DC 12V.

Apabila sensor DHT22 mendeteksi tingkat perubahan suhu yang tidak sesuai dengan *setpoint*, sensor akan mengirim sinyal ke mikrokontroler sehingga program pada mikrokontroler mulai dieksekusi, kemudian aktuator yang dibutuhkan akan menyala sampai suhu mencapai *setpoint* yang diinginkan.

Kontroler PID yang terdapat pada sistem berfungsi sebagai pengolahan nilai masukan dari sensor yang akan menggerakan aktuator untuk mencapai *setpoint* yang sudah ditentukan dengan waktu tercepat. Respon yang dikeluarkan oleh mikrokontroler berupa sinya 1 dan 0 sebagai input relay yang akan mengaktifkan lampu, serta sinyal PWM akan dimasukkan ke input *driver* motor yang berfungsi sebagai pengontrol kecepatan motor kipas DC.

3.2.1 Perancangan Blok Diagram Sistem

Pada perancangan alat diperlukan perancangan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat bisa bekerja sesuai rencana.



Gambar 3.1 Blok diagram sistem keseluruhan

Keterangan blok diagram Gambar 3.1 adalah sebagai berikut :

1. Sensor DHT22 berfungsi membaca suhu yang ada pada alat pengering dan sebagai *input* untuk mikrokontroler Arduino Uno.
2. Aktuator pengedali suhu menggunakan 2 buah lampu 100 watt yang akan menyala bila suhu terbaca dibawah set point dan akan mati jika suhu yang terbaca diatas *setpoint* serta 2 buah kipas DC di yang dikendalikan dengan kontrol PID dengan memanfaatkan *driver* L298N
3. Driver motor L298N berfungsi sebagai kontrol dengan masukan PWM dan keluaran analog.
4. Mikrokontroler Arduino Uno berfungsi sebagai pengontrol utama dan akses untuk seluruh sistem.
5. Output sistem berupa suhu.

3.2.2. Deskripsi Cara Kerja Sistem

Cara kerja sistem adalah sebagai berikut :

1. Sumber daya yang digunakan adalah 3 macam yaitu 220 volt untuk mencatu 2 buah lampu 100 watt, 12 volt untuk mencatu *driver* motor L298N yang terhubung pada 2 kipas DC, 5 volt untuk mencatu mikrokontroler Arduino Uno, sensor DHT22.
2. Sensor DHT22 membaca keluaran yang berupa suhu dan akan mengirimkan ke dalam mikrokontroler. Masukan dari sensor DHT22 lalu akan diproses oleh Arduino Uno dengan menggunakan algoritma kontrol PID. Kemudian mikrokontroler memberikan output 0/1 untuk menghidupkan atau mematikan lampu dan output PWM yang dapat mengontrol putaran kipas DC

3. Didalam alat pengering biji kakao menggunakan pemanas 2 buah lampu 100 watt yang telah terhubung dengan mikrokontroler melalui relay modul. Sirkulasi suhu pada ruangan diatur oleh 2 kipas dengan penggerak motor DC. *Driver* motor L298N sebagai perantara antara output mikrokontroler dengan input motor DC pada kipas sebagai pengandali putaran motor. Motor tersebut akan memutar kipas.
4. Komunikasi antar mikrokontroler dengan laptop menggunakan kabel USB ASP. Sedangkan komunikasi antara mikrokontroler dengan driver L298N dihubungkan dengan menggunakan kabel penghubung atau kabel jumper.

3.3 Karakterisasi Setiap Blok

3.3.1 Karakterisasi Driver L298N

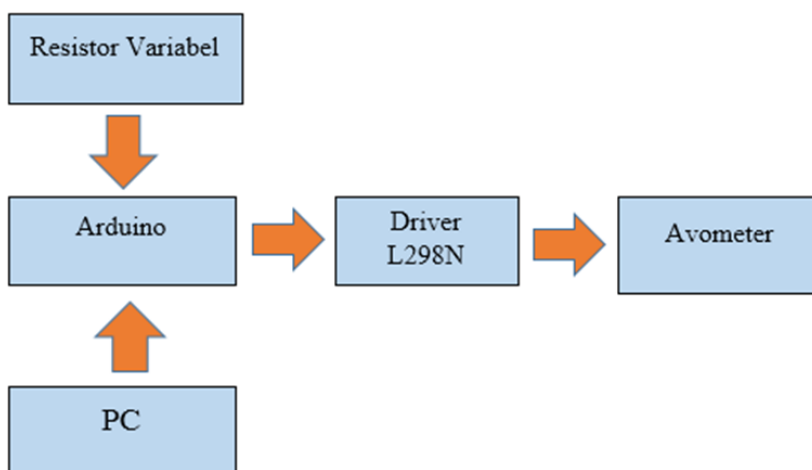
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah PWM yang dihasilkan sesuai dengan tegangan keluarannya sehingga motor DC dapat bekerja sesuai dengan perancangan sistem yang dibuat. Peralatan yang dibutuhkan sebagai berikut :

1. Driver motor DC L298N
2. Resistor variabel
3. AVO meter
4. Mikrokontroler Arduino Uno
5. Laptop

Langkah-langkah saat melakukan karakterisasi pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mengatur resistor variabel agar PWM dapat berubah sesuai yang diinginkan.
2. Mengamati dan mencatat setiap perubahan nilai tegangan keluaran pada AVOMeter.

Rangkaian pengujian Driver motor L298N ditunjukkan dalam Gambar 3.2

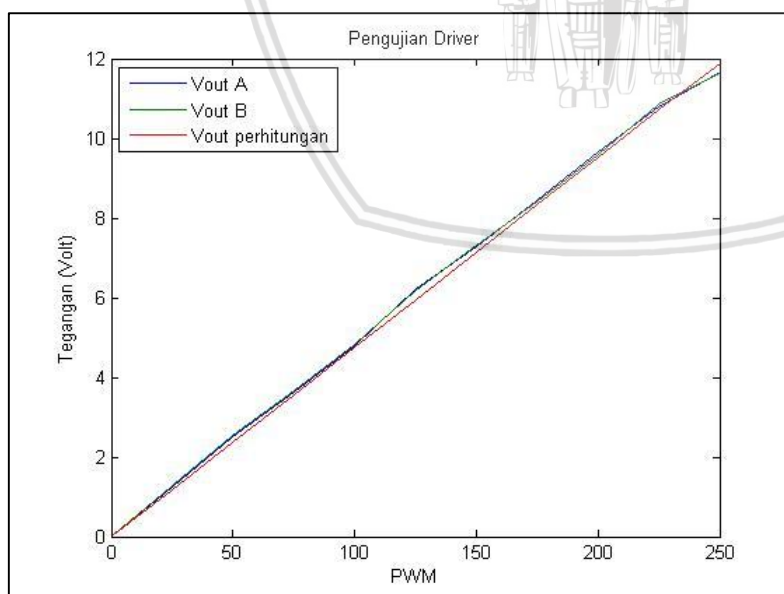


Gambar 3.2 Rangkaian pengujian karakterisasi *driver motor* L298N

Hasil pengujian driver motor DC L298N ditunjukkan dalam Tabel 3.1 serta ditunjukkan dalam Gambar 3.2

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Driver Motor DC L298N

No.	IN PWM A	IN PWM B	Vout A (Volt)	Vout B (Volt)	Vout perhitungan (Volt)
1	0	0	0	0	0
2	25	25	1,23	1,28	1,176
3	50	50	2,51	2,56	2,352
4	75	75	3,62	3,67	3,529
5	100	100	4,79	4,82	4,705
6	125	125	6,22	6,20	5,88
7	150	150	7,29	7,33	7,058
8	175	175	8,44	8,39	8,235
9	200	200	9,68	9,61	9,411
10	225	225	10,80	10,85	10,588
11	250	250	11,68	11,63	11,764



Gambar 3.3 Grafik Pengujian Driver Motor DC L298N

Seperti yang tercatat pada hasil pengujian pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai PWM maka semakin tinggi pula tegangan keluaran. Untuk perhitungan tegangan keluaran di ambil satu sampel yaitu nilai PWM 200.

$$V_{out} = (\text{Nilai PWM} / 255) \times \text{tegangan keluaran sumber}$$

$$V_{out} = (200 / 255) \times 12 = 9,41 \text{ Volt}$$

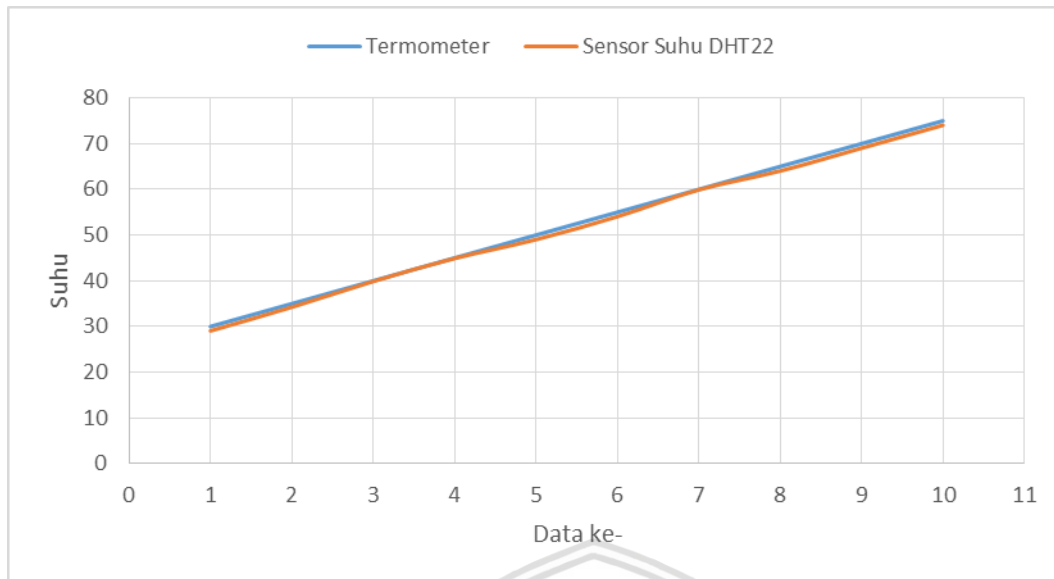
3.3.2. Karakterisasi Sensor Suhu DHT22

Karakterisasi sensor suhu dilakukan dengan melakukan perbandingan hasil pembacaan suhu menggunakan sensor dan hasil pembacaan menggunakan termometer. Hasil pengujian sensor DHT22 ditunjukkan dalam Tabel 3.2. Didapatkan grafik linear antara sensor suhu dengan termometer seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3.

Tabel 3.2 Perbandingan Pembacaan Sensor Suhu dengan Termometer

No	Suhu Termometer ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Pembacaan sensor DHT22	ERROR
1.	30	29,05	0,95
2.	35	34,23	0,77
3.	40	39,87	0,13
4.	45	44,90	0,10
5.	50	49,02	0,98
6.	55	54,04	0,96
7.	60	59,90	0,10
8.	65	64,02	0,98
9.	70	69,02	0,98
10.	75	74,04	0,96
Rata-rata error			0,691

Berdasarkan hasil pengujian dalam Tabel 3.2, error antara suhu pembacaan termometer dengan suhu pembacaan sensor DHT22 adalah sekitar $0,691^{\circ}\text{C}$. Grafik perbandingan suhu hasil pembacaan termometer acuan dengan serial monitor dapat dilihat dalam Gambar 3.4. Pada grafik tersebut terlihat bahwa selisih yang timbul antara kedua pembacaan suhu cenderung membentuk garis linear.



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Pembacaan Termometer dengan Sensor DHT22

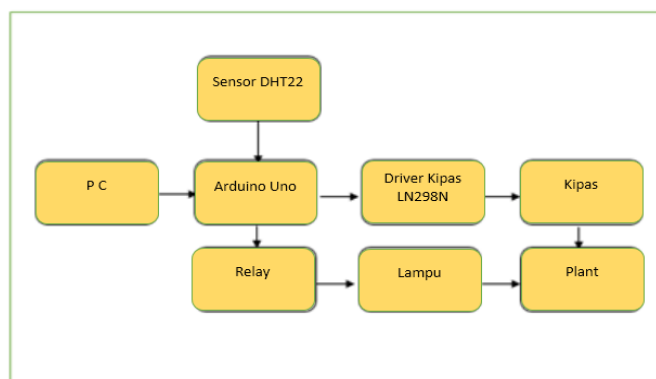
3.3.3. Karakterisasi Plant

Peralatan yang digunakan sebagai berikut:

1. Lampu pemanas
2. Kipas DC
3. Driver L298N
4. Plant
5. Relay
6. Sensor DHT22
7. Arduino UNO
8. Kabel Penghubung
9. PC

Langkah-langkah saat melakukan karakterisasi plant adalah sebagai berikut :

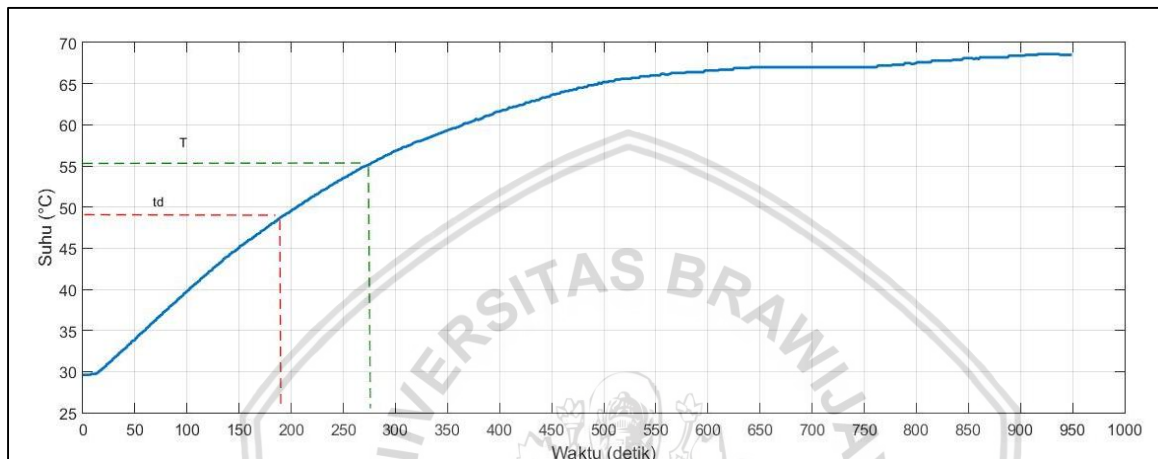
1. Menyusun rangkaian seperti Gambar 3.5



Gambar 3.5 Rangkaian pengujian karakterisasi plant

2. Menghubungkan rangkaian pengujian dengan sumber AC.
3. Respon suhu plant ditampilkan pada serial monitor dan plot ke dalam grafik dengan Matlab.

Gambar 3.6 merupakan grafik karakteristik plant box pengering biji kakao. Grafik tersebut didapatkan dengan memberikan nilai PWM sebesar 255 atau tegangan sebesar 12 Volt dan Relay dalam kondisi 1 atau ON.



Gambar 3.6 Grafik karakteristik box pengering

Dari respon plant pada Gambar 3.6 didapatkan data sebagai berikut:

$$td = 186s$$

$$T = 284s$$

$$G = \frac{\text{Suhu Respon}}{\text{Suhu Input}} = \frac{68,60^\circ\text{C}}{68,60^\circ\text{C}} = 1$$

Sehingga didapatkan fungsi alih:

$$G(s) = \frac{G}{Ts + 1} = \frac{G}{284s + 1} = \frac{1}{284s + 1}$$

Berdasarkan fungsi alih diatas, dapat diketahui persamaan karakteristiknya adalah sebagai berikut:

$$1 + G(s)H(s) = 0$$

$$1 + \frac{1}{284s + 1} \cdot 1 = 0$$

$$284s + 2 = 0$$

$$284s = -2$$

$$s = -\frac{2}{284} = -0,007$$

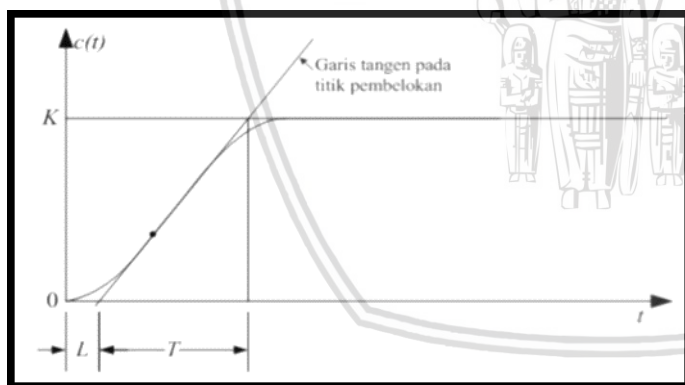
Dari perhitungan diatas terlihat bahwa akar persamaan karakteristiknya adalah:

Syarat sistem stabil adalah bagian nyata akar-akar persamaan karakteristiknya harus negatif. Karena nilai $s = -0,007$ nyata dan berharga negatif, maka sistem ini merupakan sistem yang stabil.

3.4. Perancangan Kontroler

Dalam memenuhi tujuan performansi loop yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler dalam sistem. Kontrol yang dipilih adalah kontrol Proporsional Integral Derivatif. Kontroler PID dipilih karena karakteristik *plant* alat ini membutuhkan kontrol yang cepat dengan meminimalkan overshoot.

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan *plan* (Ogata, K., 1997). Pada pengerjaan skripsi ini digunakanlah metode Ziegler Nichols yang pertama sehingga mendapatkan sinyal kurve S seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Kurva Respon yang Berbentuk S (Ogata, K. 1997)

Grafik karakteristik *plant* dalam Gambar 3.8 menunjukkan bahwa bentuk kurva karakteristik *plant* menyerupai huruf S (*S-shaped curve*) sehingga dapat digunakan tuning K_p , K_i , dan K_d menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols.

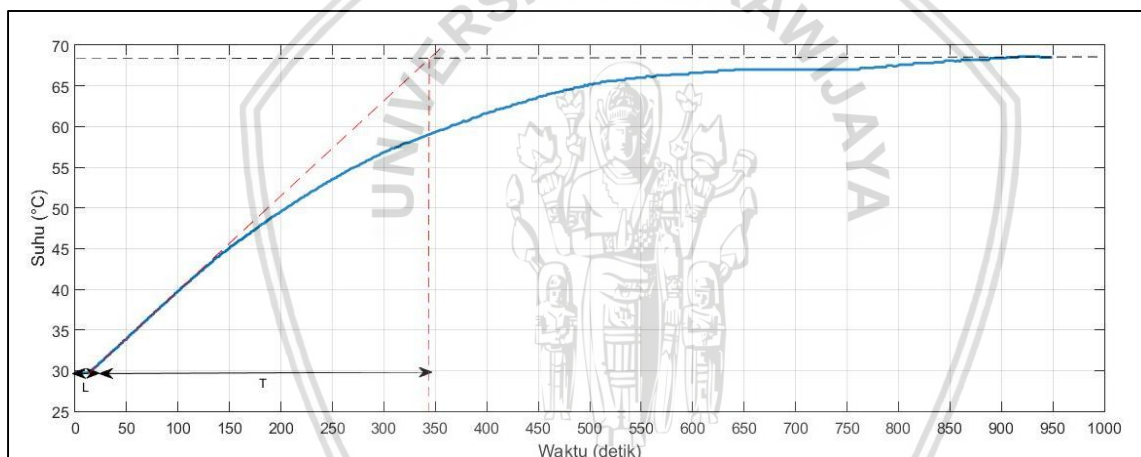
Langkah menentukan *tuning* parameter dengan metode 1 Ziegler-Nichols adalah sebagai berikut:

1. Menarik garis *tangent* pada titik infleksi pada grafik karakteristik *plant* seperti pada Gambar 3.8

2. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu waktu t untuk mendapatkan nilai L .
3. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu *steady* untuk mendapatkan nilai T .
4. Setelah mendapatkan nilai L dan T kemudian menentukan nilai K_p , T_i dan T_d sesuai ketentuan pada tabel 3.3

Tabel 3. 3 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K, 1997)

Tipe Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$



Gambar 3.8 Grafik Penentuan K_p , K_i , K_d

PWM yang diberikan yaitu sebesar 255 dengan nilai tegangan output sebesar 12 Volt, sehingga di dapatkan gain (k), waktu tunda (L), konstanta waktu (T). Berdasarkan grafik pada gambar 3.8 diperoleh nilai $L = 18$ s dan $T = 347$ s.

Dan didapatkan nilai perhitungan:

$$K_p = 1,2 \frac{T}{L} = 1,2 \frac{347}{18} = 23,13$$

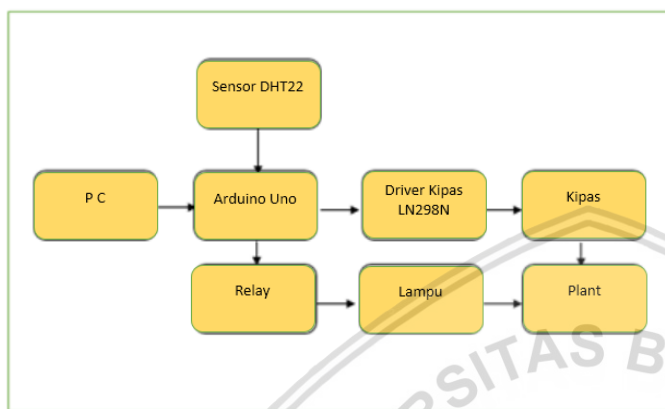
$$T_i = 2L = 36 \text{ sehingga } K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{23,13}{36} = 0,6425$$

$$T_d = 0,5L = 9 \text{ sehingga } K_d = K_p \times T_d = 23,13 \times 9 = 208,17$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui nilai $K_p = 23,13$, $K_i = 0,6425$, $K_d = 208,17$.

3.5. Perancangan Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta pemrogramannya. Hal ini agar sistem pengeringan biji kakao dengan pengontrol suhu pada plant menggunakan Kontrol PID dapat berjalan sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan. Skema dari perangkat keras adalah seperti pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Skema Perangkat keras

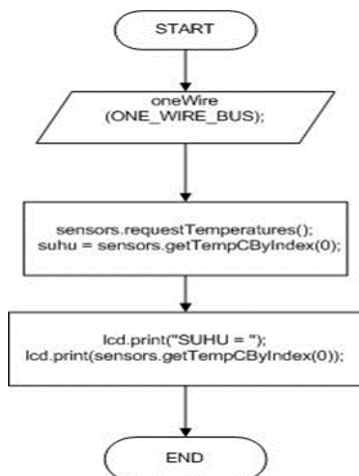
Penentuan modul elektronik yang digunakan meliputi:

- Mikrokontroler Arduino UNO sebagai perangkat kontroler.
- Sensor DHT22 sebagai feedback suhu
- Driver L298N pengontrol kipas
- Lampu dan Kipas sebagai aktuator pemanas.
- Relay sebagai pengontrol lampu

3.6. Perancangan Algoritma

3.6.1. Flowchart Pembacaan Sensor Suhu

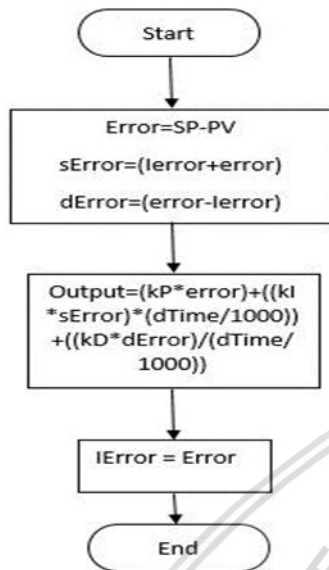
Flowchart pembacaan sensor DHT22 ditunjukkan dalam Gambar 3.10



Gambar 3.10 Flowchart Pembacaan Sensor Suhu

3.6.2. Flowchart Perhitungan Parameter PID

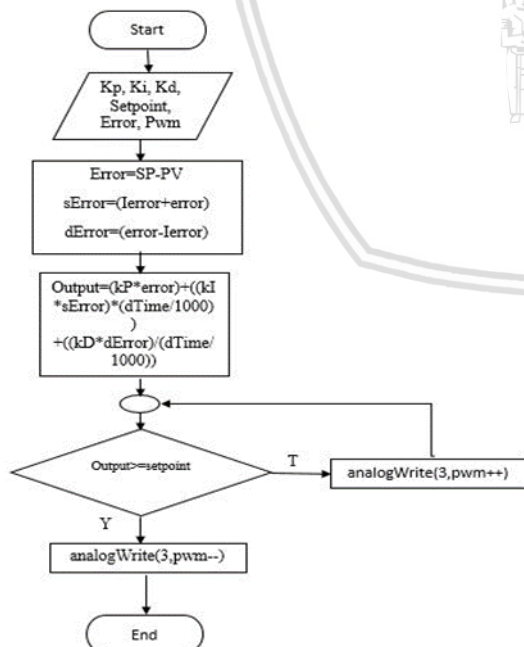
Flowchart perhitungan parameter PID ditunjukkan dalam Gambar 3.11



Gambar 3.11 Flowchart Perhitungan Parameter PID

3.6.3. Flowchart Keseluruhan Sistem

Flowchart keseluruhan sistem ditunjukkan dalam Gambar 3.12



Gambar 3.12 Flowchart Keseluruhan Sistem

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

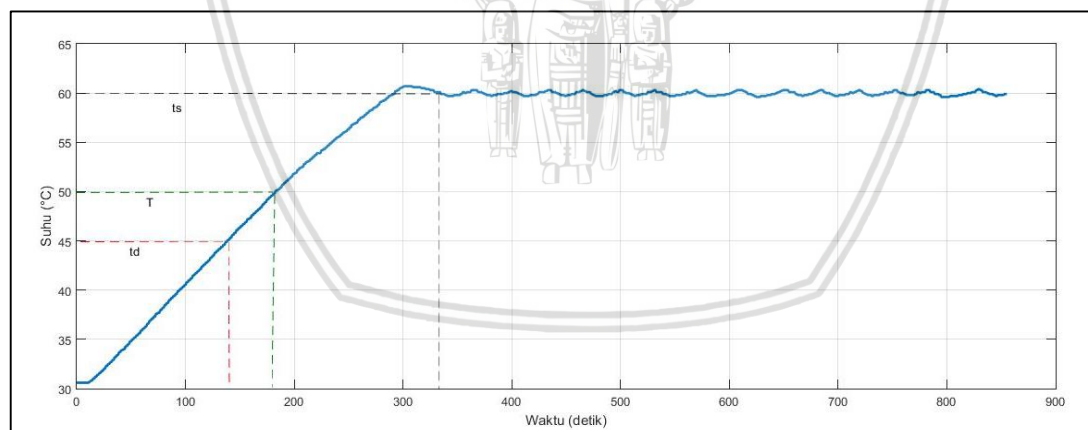
Hasil dan pembahasan diperoleh melalui pengujian sistem secara menyeluruh dan perbandingan hasil. Pengujian sistem secara menyeluruh dilakukan dengan setpoint 60°C dan dengan diberikan gangguan. Percobaan dilakukan dengan menggunakan fungsi keanggotaan nilai K_p , K_i , dan K_d yang telah ditentukan. Tujuan dilakukannya pengujian adalah untuk menguji apakah sistem hasil perancangan sudah sesuai dengan spesifikasi desain yang diinginkan serta untuk mengetahui responnya.

4.1. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respon kontroler terhadap setpoint 60°C pada saat suhu awal 30°C .

a. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon keluaran berupa grafik pembacaan suhu maksimal. Grafik hasil pengujian bisa dilihat dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Respon Sistem

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 4.1 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

- t_d (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. t_d berdasarkan pengujian adalah 138 detik.
- t_s (settling time) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika steady. t_s berdasarkan pengujian adalah 320 detik. Settling time didapat ketika suhu telah mencapai 60°C
- Error Steady State :

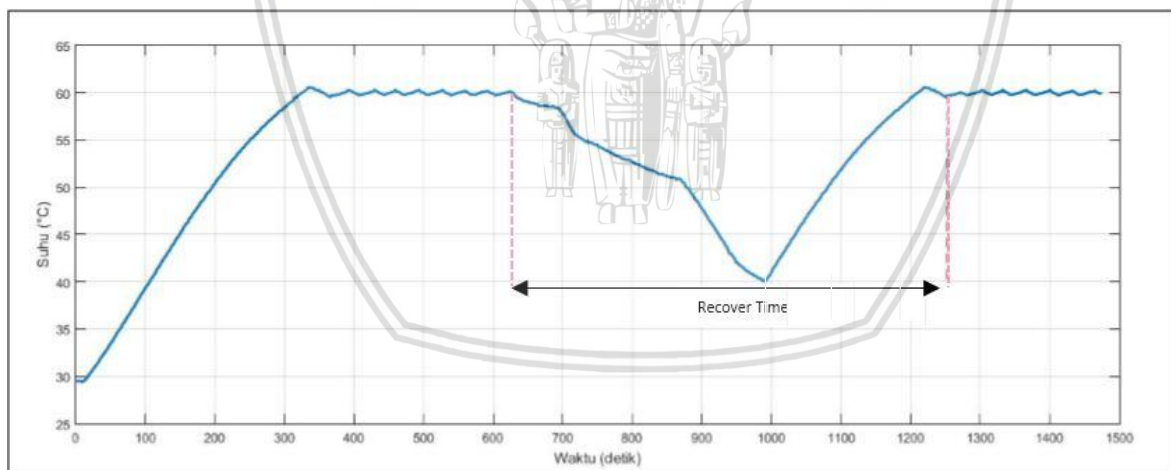
$$\%E = \left| \frac{\text{Setpoint} - \text{present value}}{\text{setpoint}} \right| \times 100\%$$

$$\%E = \left| \frac{60 - 60,35}{60} \right| \times 100\%$$

$$\%E = 0,58 \%$$

4.2 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan ketika diberi Gangguan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kinerja sistem secara keseluruhan dan mengamati respons kontroler terhadap setpoint ketika mendapatkan gangguan berupa perubahan suhu yang turun. Setelah melakukan pengujian, didapatkan hasil respon setelah diberi gangguan yang dapat dilihat dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik respon sistem ketika diberi gangguan

Dari grafik hasil pengujian, dapat dilihat respon sistem terhadap gangguan berupa perubahan suhu yang dingin. Sistem dapat kembali pada keadaan *steady state* setelah terjadinya gangguan dan mengalami proses *recovery time* sebesar 620 detik. Dengan begitu dapat dikatakan sistem kontrol pada perancangan ini telah bekerja dengan baik.

4.3 Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui berapa persen tingkat air yang terdapat pada biji kakao. Pengeringan Biji kakao dilakukan sampai kadar air berkisar antara 6-7 persen. Kadar air terlalu rendah menyebabkan biji akan rapuh dan mudah pecah. Kadar air terlalu tinggi menyebabkan pertumbuhan jamur. Salah satu cara menentukan kadar air pada biji kakao adalah metode oven. Prinsip kerja metode oven adalah dengan mengeringkan sampel di dalam oven antara kisaran suhu 100°C – 105°C sampai diperoleh berat yang tetap dari sampel yang diujikan.

Bahan-bahan yang diperlukan antara lain :

1. Cawan
2. Desikator
3. Oven Pengering
4. Timbangan Analitik
5. Tang Penjepit
6. Sampel Biji Kakao

Langkah – langkah yang dilakukan :

1. Cawan yang sudah bersih dikeringkan di dalam oven pengering pada suhu 105°C selama 1 jam.
2. Kemudian cawan diambil dengan menggunakan tang penjepit dan didinginkan didalam desikator selama 1 jam.
3. Setelah dingin cawan ditimbang untuk mengetahui berat cawan.
4. Ditimbang sampel 5 gram dengan menggunakan cawan dan dikeringkan di dalam oven pengering pada suhu 105°C selama 8 jam atau sampai beratnya tetap.
5. Dengan menggunakan tang penjepit cawan di angkat dan didinginkan di dalam desikator selama 30 menit. Setelah dingin cawan ditimbang.
6. Dengan rumus : $(\text{Berat air}/\text{Berat sampel}) \times 100\%$ didapatkan jumlah kadar airnya.

Sementara itu untuk membandingkan hasil, dilakukan pengeringan biji kakao secara tradisional atau di jemur di bawah sinar matahari secara langsung. Pengeringan berlangsung selama 3 hari dari jam 08.00 WIB – 16.00 WIB. Dari jam 16.00 WIB sampai 08.00 WIB (pada malam hari) masing masing sampel biji kakao disimpan di dalam ruangan untuk mencegah terjadinya absorpsi uap air dari lingkungan. Pengeringan dilanjutkan keesokan pagi dan seterusnya hingga hari ketiga.

4.4 Hasil Perbandingan

Perbandingan hasil pengeringan biji kakao menggunakan kontroler (sampel biji kakao A) dan tanpa kontroler (sampel biji kakao B) dapat dilihat pada tabel 4.1

Sampel Biji Kakao	No	Berat cawan timbang kosong (gr)	Berat sampel (gr)	Berat Cawan + Sampel sebelum pengovenan (gr)	Berat Cawan + Sampel sesudah pengovenan (gr)	Berat Air (gr)	Berat sampel setelah pengovenan (gr)	Kadar Air (%)
A	1	10,41	5,00	15,41	15,05	0,36	4,64	7,2
	2	10,35	5,00	15,35	15,02	0,33	4,67	6,6
	3	10,36	5,00	15,36	15,02	0,34	4,66	6,8
	4	10,30	5,00	15,30	14,99	0,31	4,69	6,2
	5	10,40	5,00	15,40	15,04	0,36	4,64	7,2
B	1	10,36	5,00	15,36	14,77	0,59	4,40	11,84
	2	10,32	5,00	15,32	14,80	0,52	4,47	10,53
	3	10,34	5,00	15,34	14,76	0,58	4,41	11,62
	4	10,30	5,00	15,30	14,75	0,55	4,44	11,14
	5	10,40	5,00	15,40	14,79	0,61	4,38	12,30

Tabel 4.1 Perbandingan hasil kadar air

Dari data tabel 4.1 dapat dilihat bahwa biji kakao yang dikeringkan dengan menggunakan kontroler mempunyai kisaran kadar air sebesar 6-7 persen, dan yang tanpa menggunakan kontroler berkisar 10-12 persen.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kontroler PID dengan parameter $K_p=23.13$, $K_i=0.6425$, dan $K_d=208.17$, dapat diimplementasikan secara langsung pada sistem pengeringan biji kakao untuk mencapai *set point* 60°C , dan didapatkan nilai *settling time* (t_s) = 320 detik, waktu tunda (t_d) = 138 detik, *error steady state* sebesar 0,58%. Hasil pengeringan dengan menggunakan kontroler juga menunjukkan kadar air sebesar 6-7 persen, yang merupakan kondisi pengeringan mutu biji kakao yang terbaik.
2. Hasil pengujian dengan menggunakan gangguan terhadap kontroler PID menggunakan Arduino Uno menunjukkan bahwa respon sistem dapat kembali pada keadaan *steady state* dan mengalami proses *recovery time* sebesar 620 detik .

5.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat banyak kelemahan dan kekurangan. Penggunaan sensor yang lebih baik dapat memberikan data yang lebih akurat. Salah satunya penggunaan sensor DHT22 yang dirasa kurang dan dalam perancangan alat ini masih bisa dikembangkan dengan metode lain, dan dapat di tambahkan kontroler pada beberapa faktor seperti pH dan Gula reduksi pada biji kakao.



DAFTAR PUSTAKA

- Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Terjemahan Edi Leksono, Jakarta: Erlangga.
- Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar: Pengendalian Proses*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Prihanani. 2001. *Kajian Pengeringan Biji Kakao Dengan Pengurangan Pulp Dan Pemanasan Pra Fermentasi Terhadap Mutu Biji Kakao Kering*. Thesis. Institut Pertanian Bogor.
- Azizah, Siti. 2005. *Uji Kinerja Mesin Sangrai tipe Silinder Horizontal Berputar Untuk Penyangraian Biji Kakao "Under Grade"*. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Yudaningtyas, Erni. 2017. *Belajar Sistem Kontrol Soal & Pembahasan*. Malang: UB Press.
- Atmawinata O, Mulato S, Widyotomo. 1998. *Teknik Pra Pengolahan Biji Kakao Segar Secara Mekanis Untuk Mempersingkat Waktu Dan Menurunkan Keasaman Biji*. Pelita Perkebunan.
- Modul Praktikum Sistem Kontrol. 2016. *Praktikum Sistem Kontrol Dasar*. Malang: Laboratorium Sistem Kontrol Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

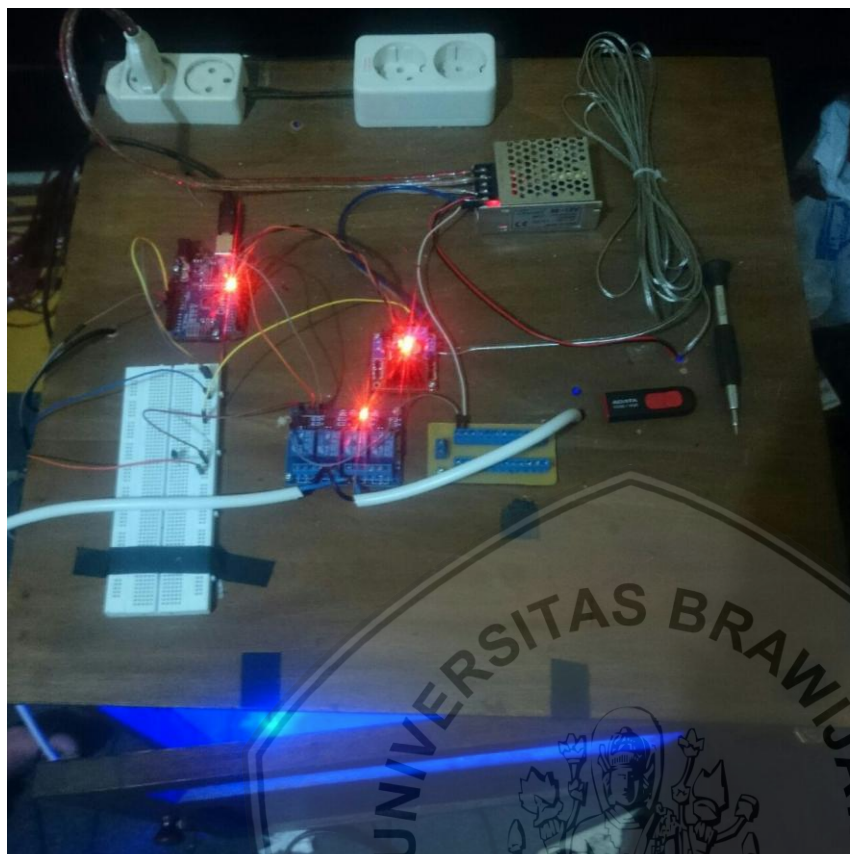


LAMPIRAN I

FOTO ALAT



FOTO ALAT



LAMPIRAN II

Listing Program



PROGRAM KESELURUHAN SISTEM

```
#include <PID_v1.h>

#include "DHT.h"

#define DHTPIN 2

#define DHTTYPE DHT22

#define PIN_INPUT 0

#define PIN_OUTPUT 9

#define IN1 10

#define IN2 11

#define LAMPU 8

//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint, Input, Output;

float Temperature;

//Specify the links and initial tuning parameters
float Kp=23.13, Ki=0.64, Kd=208.17;

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

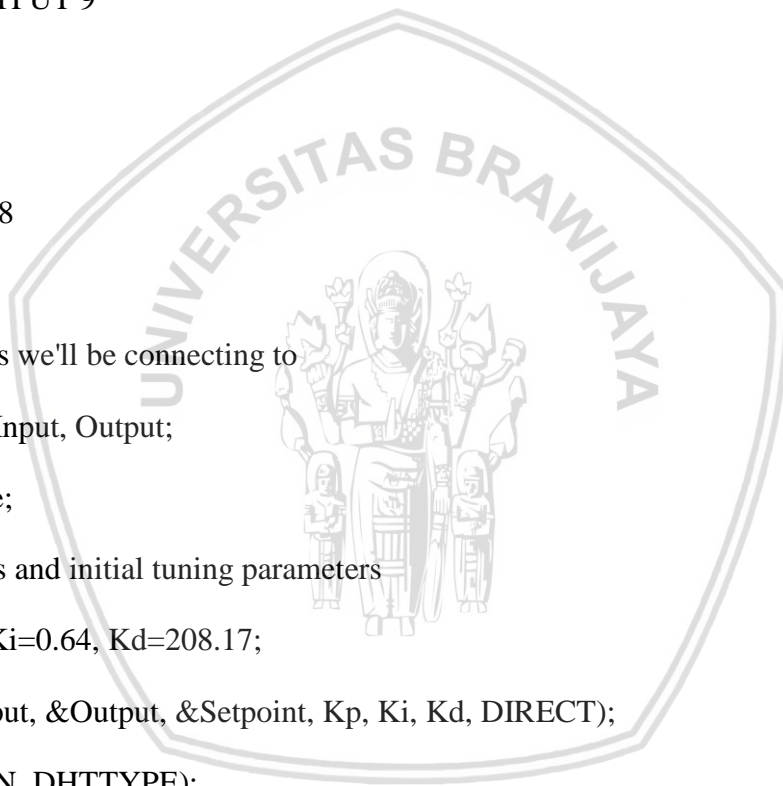
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int x;

void setup()
{
    //initialize the variables we're linked to

    Serial.begin(9600);

    //Input = analogRead(PIN_INPUT);
```



```
Setpoint = 60;

pinMode(PIN_OUTPUT,OUTPUT);

pinMode(IN1,OUTPUT);

pinMode(IN2,OUTPUT);

pinMode(LAMPU,OUTPUT);

digitalWrite(IN1,HIGH);

digitalWrite(IN2,LOW);

//turn the PID on

dht.begin();

myPID.SetMode(AUTOMATIC);

}

void loop()
{
  for ( x = 0; x<2000; x++){

    //int value = analogRead(PIN_INPUT);

    Temperature = dht.readTemperature();
```

```
Input = filterTemp;

if (Input < Setpoint){

  digitalWrite(LAMPU,LOW);

}

else{if (Input >= Setpoint){

  digitalWrite(LAMPU,HIGH);

}}
```

```
myPID.Compute();

analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);

Serial.print(x);

Serial.print(",");

Serial.print(Temperature);

Serial.print(",");

Serial.print(filterTemp);

Serial.print(",");

Serial.println(Output);

delay(1000);

}

}
```



LAMPIRAN III

Data Pengujian

Data Pengujian Karakteristik Plan :

Waktu (Detik)	Suhu (°C)
1	29.60
2	29.60
3	29.60
4	29.60
5	29.60
6	29.60
7	29.60
8	29.70
9	29.70
10	29.70
11	29.70
12	29.70
13	29.80
14	29.80
15	30.00
16	30.00
17	30.20
18	30.20
19	30.40
20	30.40
21	30.60
22	30.60
23	30.90
24	30.90
25	31.10
26	31.10
27	31.30
28	31.30
29	31.60
30	31.60
31	31.80
32	31.80
33	32.00
34	32.00
35	32.30

36	32.30
37	32.50
38	32.50
39	32.70
40	32.70
41	32.90
42	32.90
43	33.20
44	33.20
45	33.40
46	33.40
47	33.70
48	33.70
49	33.80
50	33.80
51	34.10
52	34.10
53	34.40
54	34.40
55	34.60
56	34.60
57	34.80
58	34.80
59	35.00
60	35.00
61	35.30
62	35.30
63	35.50
64	35.50
65	35.80
66	35.80
67	36.00
68	36.00
69	36.20
70	36.20
71	36.50
72	36.50

73	36.70
74	36.70
75	36.90
76	36.90
77	37.20
78	37.20
79	37.40
80	37.40
81	37.60
82	37.60
83	37.90
84	37.90
85	38.10
86	38.10
87	38.30
88	38.30
89	38.50
90	38.50
91	38.80
92	38.80
93	39.00
94	39.00
95	39.20
96	39.20
97	39.50
98	39.50
99	39.70
100	39.70
101	39.90
102	39.90
103	40.20
104	40.20
105	40.40
106	40.40
107	40.60
108	40.60
109	40.80

110	40.80
111	41.00
112	41.00
113	41.30
114	41.30
115	41.50
116	41.50
117	41.70
118	41.70
119	41.90
120	41.90
121	42.20
122	42.20
123	42.30
124	42.30
125	42.60
126	42.60
127	42.80
128	42.80
129	43.00
130	43.00
131	43.20
132	43.20
133	43.40
134	43.40
135	43.70
136	43.70
137	43.90
138	43.90
139	44.00
140	44.00
141	44.30
142	44.30
143	44.50
144	44.50
145	44.60
146	44.60
147	44.80
148	44.80
149	45.00
150	45.00
151	45.30
152	45.30
153	45.40
154	45.40

155	45.60
156	45.60
157	45.80
158	45.80
159	46.00
160	46.00
161	46.10
162	46.10
163	46.30
164	46.30
165	46.50
166	46.50
167	46.70
168	46.70
169	46.80
170	46.80
171	47.10
172	47.10
173	47.20
174	47.20
175	47.40
176	47.40
177	47.60
178	47.60
179	47.80
180	47.80
181	48.00
182	48.00
183	48.10
184	48.10
185	48.30
186	48.30
187	48.50
188	48.50
189	48.70
190	48.70
191	48.90
192	48.90
193	49.00
194	49.00
195	49.20
196	49.20
197	49.30
198	49.30
199	49.50

200	49.50
201	49.70
202	49.70
203	49.80
204	49.80
205	50.00
206	50.00
207	50.20
208	50.20
209	50.30
210	50.30
211	50.50
212	50.50
213	50.70
214	50.70
215	50.80
216	50.80
217	51.00
218	51.00
219	51.20
220	51.20
221	51.30
222	51.30
223	51.50
224	51.50
225	51.60
226	51.60
227	51.80
228	51.80
229	52.00
230	52.00
231	52.10
232	52.10
233	52.20
234	52.20
235	52.40
236	52.40
237	52.60
238	52.60
239	52.70
240	52.70
241	52.90
242	52.90
243	53.00
244	53.00

245	53.20
246	53.20
247	53.30
248	53.30
249	53.50
250	53.50
251	53.60
252	53.60
253	53.70
254	53.70
255	53.90
256	53.90
257	54.00
258	54.00
259	54.20
260	54.20
261	54.30
262	54.30
263	54.50
264	54.50
265	54.60
266	54.60
267	54.80
268	54.80
269	54.90
270	54.90
271	55.00
272	55.00
273	55.10
274	55.10
275	55.20
276	55.20
277	55.40
278	55.40
279	55.50
280	55.50
281	55.60
282	55.60
283	55.80
284	55.80
285	55.90
286	55.90
287	56.00
288	56.00

289	56.20
290	56.20
291	56.30
292	56.30
293	56.40
294	56.40
295	56.50
296	56.50
297	56.70
298	56.70
299	56.80
300	56.80
301	56.90
302	56.90
303	57.00
304	57.00
305	57.10
306	57.10
307	57.30
308	57.30
309	57.30
310	57.30
311	57.40
312	57.40
313	57.50
314	57.50
315	57.60
316	57.60
317	57.80
318	57.80
319	57.90
320	57.90
321	58.00
322	58.00
323	58.00
324	58.00
325	58.10
326	58.10
327	58.20
328	58.20
329	58.30
330	58.30
331	58.40
332	58.40

333	58.50
334	58.50
335	58.60
336	58.60
337	58.70
338	58.70
339	58.80
340	58.80
341	58.90
342	58.90
343	59.00
344	59.00
345	59.10
346	59.10
347	59.20
348	59.20
349	59.30
350	59.30
351	59.40
352	59.40
353	59.50
354	59.50
355	59.60
356	59.60
357	59.60
358	59.60
359	59.70
360	59.70
361	59.80
362	59.80
363	59.90
364	59.90
365	60.10
366	60.10
367	60.20
368	60.20
369	60.20
370	60.20
371	60.30
372	60.30
373	60.40
374	60.40
375	60.50
376	60.50

377	60.70
378	60.70
379	60.60
380	60.60
381	60.70
382	60.70
383	60.80
384	60.80
385	61.00
386	61.00
387	61.10
388	61.10
389	61.10
390	61.10
391	61.20
392	61.20
393	61.30
394	61.30
395	61.50
396	61.50
397	61.60
398	61.60
399	61.60
400	61.60
401	61.70
402	61.70
403	61.80
404	61.80
405	61.80
406	61.80
407	61.90
408	61.90
409	62.10
410	62.10
411	62.10
412	62.10
413	62.20
414	62.20
415	62.20
416	62.20
417	62.30
418	62.30
419	62.40
420	62.40
421	62.40

422	62.40
423	62.50
424	62.50
425	62.70
426	62.70
427	62.70
428	62.70
429	62.80
430	62.80
431	62.90
432	62.90
433	62.90
434	62.90
435	63.00
436	63.00
437	63.00
438	63.00
439	63.20
440	63.20
441	63.30
442	63.30
443	63.30
444	63.30
445	63.40
446	63.40
447	63.40
448	63.40
449	63.60
450	63.60
451	63.70
452	63.70
453	63.70
454	63.70
455	63.80
456	63.80
457	63.80
458	63.80
459	64.00
460	64.00
461	64.00
462	64.00
463	64.10
464	64.10
465	64.10
466	64.10

467	64.20
468	64.20
469	64.20
470	64.20
471	64.30
472	64.30
473	64.30
474	64.30
475	64.50
476	64.50
477	64.50
478	64.50
479	64.50
480	64.50
481	64.60
482	64.60
483	64.60
484	64.60
485	64.80
486	64.80
487	64.80
488	64.80
489	64.80
490	64.80
491	64.90
492	64.90
493	64.90
494	64.90
495	65.10
496	65.10
497	65.00
498	65.00
499	65.20
500	65.20
501	65.20
502	65.20
503	65.20
504	65.20
505	65.30
506	65.30
507	65.30
508	65.30
509	65.30
510	65.30
511	65.50

512	65.50
513	65.50
514	65.50
515	65.50
516	65.50
517	65.60
518	65.60
519	65.60
520	65.60
521	65.60
522	65.60
523	65.60
524	65.60
525	65.60
526	65.60
527	65.70
528	65.70
529	65.70
530	65.70
531	65.70
532	65.70
533	65.70
534	65.70
535	65.90
536	65.90
537	65.90
538	65.90
539	65.90
540	65.90
541	65.90
542	65.90
543	65.90
544	65.90
545	66.00
546	66.00
547	66.00
548	66.00
549	66.00
550	66.00
551	66.00
552	66.00
553	66.00
554	66.00
555	66.20

556	66.20
557	66.20
558	66.20
559	66.10
560	66.10
561	66.10
562	66.10
563	66.20
564	66.20
565	66.30
566	66.30
567	66.30
568	66.30
569	66.30
570	66.30
571	66.30
572	66.30
573	66.30
574	66.30
575	66.30
576	66.30
577	66.30
578	66.30
579	66.40
580	66.40
581	66.40
582	66.40
583	66.40
584	66.40
585	66.40
586	66.40
587	66.40
588	66.40
589	66.40
590	66.40
591	66.40
592	66.40
593	66.40
594	66.40
595	66.40
596	66.40
597	66.60
598	66.60
599	66.60

600	66.60
601	66.60
602	66.60
603	66.60
604	66.60
605	66.60
606	66.60
607	66.60
608	66.60
609	66.60
610	66.60
611	66.70
612	66.70
613	66.70
614	66.70
615	66.70
616	66.70
617	66.70
618	66.70
619	66.70
620	66.70
621	66.70
622	66.70
623	66.70
624	66.70
625	66.90
626	66.90
627	66.90
628	66.90
629	66.90
630	66.90
631	66.90
632	66.90
633	66.90
634	66.90
635	66.90
636	66.90
637	66.90
638	66.90
639	66.90
640	66.90
641	67.00
642	67.00
643	67.00

644	67.00
645	67.00
646	67.00
647	67.00
648	67.00
649	67.00
650	67.00
651	67.00
652	67.00
653	67.00
654	67.00
655	67.00
656	67.00
657	67.00
658	67.00
659	67.00
660	67.00
661	67.00
662	67.00
663	67.00
664	67.00
665	67.00
666	67.00
667	67.00
668	67.00
669	67.00
670	67.00
671	67.00
672	67.00
673	67.00
674	67.00
675	67.00
676	67.00
677	67.00
678	67.00
679	67.00
680	67.00
681	67.00
682	67.00
683	67.00
684	67.00
685	67.00
686	67.00
687	67.00
688	67.00

689	67.00
690	67.00
691	67.00
692	67.00
693	67.00
694	67.00
695	67.00
696	67.00
697	67.00
698	67.00
699	67.00
700	67.00
701	67.00
702	67.00
703	67.00
704	67.00
705	67.00
706	67.00
707	67.00
708	67.00
709	67.00
710	67.00
711	67.00
712	67.00
713	67.00
714	67.00
715	67.00
716	67.00
717	67.00
718	67.00
719	67.00
720	67.00
721	67.00
722	67.00
723	67.00
724	67.00
725	67.00
726	67.00
727	67.00
728	67.00
729	67.00
730	67.00
731	67.00
732	67.00
733	67.00

734	67.00
735	67.00
736	67.00
737	67.00
738	67.00
739	67.00
740	67.00
741	67.00
742	67.00
743	67.00
744	67.00
745	67.00
746	67.00
747	67.00
748	67.00
749	67.00
750	67.00
751	67.00
752	67.00
753	67.00
754	67.00
755	67.00
756	67.00
757	67.00
758	67.00
759	67.00
760	67.00
761	67.00
762	67.00
763	67.20
764	67.20
765	67.20
766	67.20
767	67.20
768	67.20
769	67.20
770	67.20
771	67.20
772	67.20
773	67.20
774	67.20
775	67.20
776	67.20
777	67.30
778	67.30

779	67.30
780	67.30
781	67.30
782	67.30
783	67.30
784	67.30
785	67.30
786	67.30
787	67.30
788	67.30
789	67.50
790	67.50
791	67.50
792	67.50
793	67.50
794	67.50
795	67.40
796	67.40
797	67.40
798	67.40
799	67.50
800	67.50
801	67.60
802	67.60
803	67.60
804	67.60
805	67.60
806	67.60
807	67.60
808	67.60
809	67.60
810	67.60
811	67.60
812	67.60
813	67.60
814	67.60
815	67.80
816	67.80
817	67.80
818	67.80
819	67.80
820	67.80
821	67.80
822	67.80

823	67.80
824	67.80
825	67.80
826	67.80
827	67.80
828	67.80
829	67.80
830	67.80
831	67.80
832	67.80
833	67.80
834	67.80
835	67.90
836	67.90
837	67.90
838	67.90
839	67.90
840	67.90
841	67.90
842	67.90
843	67.90
844	67.90
845	68.10
846	68.10
847	68.10
848	68.10
849	68.10
850	68.10
851	68.10
852	68.10
853	68.10
854	68.10
855	68.00
856	68.00
857	68.10
858	68.10
859	68.00
860	68.00
861	68.20
862	68.20
863	68.20
864	68.20
865	68.20
866	68.20

867	68.20
868	68.20
869	68.20
870	68.20
871	68.20
872	68.20
873	68.20
874	68.20
875	68.20
876	68.20
877	68.20
878	68.20
879	68.20
880	68.20
881	68.20
882	68.20
883	68.20
884	68.20
885	68.20
886	68.20
887	68.20
888	68.20
889	68.40
890	68.40
891	68.40
892	68.40
893	68.40
894	68.40
895	68.40
896	68.40
897	68.40
898	68.40
899	68.40
900	68.40
901	68.40
902	68.40
903	68.40
904	68.40
905	68.50
906	68.50
907	68.50
908	68.50
909	68.50
910	68.50

911	68.50
912	68.50
913	68.50
914	68.50
915	68.50
916	68.50
917	68.60
918	68.60
919	68.60
920	68.60
921	68.60
922	68.60
923	68.60
924	68.60
925	68.60
926	68.60
927	68.60
928	68.60
929	68.60
930	68.60
931	68.60
932	68.60
933	68.60
934	68.60
935	68.60
936	68.60
937	68.60
938	68.50
939	68.50
940	68.50
941	68.50
942	68.50
943	68.50
944	68.50
945	68.50
946	68.50
947	68.50
948	68.50



Pengujian Keseluruhan Sistem :

Waktu (Detik)	Suhu (°C)
1	30.60
2	30.60
3	30.60
4	30.60
5	30.60
6	30.60
7	30.60
8	30.60
9	30.60
10	30.60
11	30.70
12	30.80
13	30.80
14	31.00
15	31.00
16	31.20
17	31.20
18	31.40
19	31.40
20	31.60
21	31.60
22	31.80
23	31.80
24	32.00
25	32.00
26	32.30
27	32.30
28	32.50
29	32.50
30	32.70
31	32.70
32	32.90
33	32.90
34	33.20
35	33.20
36	33.40
37	33.40
38	33.70
39	33.70
40	33.90

41	33.90
42	34.00
43	34.00
44	34.30
45	34.30
46	34.50
47	34.50
48	34.80
49	34.80
50	35.00
51	35.00
52	35.20
53	35.20
54	35.40
55	35.40
56	35.60
57	35.60
58	35.90
59	35.90
60	36.10
61	36.10
62	36.30
63	36.30
64	36.60
65	36.60
66	36.90
67	36.90
68	37.10
69	37.10
70	37.30
71	37.30
72	37.60
73	37.60
74	37.70
75	37.70
76	38.00
77	38.00
78	38.20
79	38.20
80	38.50
81	38.50
82	38.70

83	38.70
84	39.00
85	39.00
86	39.20
87	39.20
88	39.40
89	39.40
90	39.60
91	39.60
92	39.90
93	39.90
94	40.10
95	40.10
96	40.30
97	40.30
98	40.50
99	40.50
100	40.80
101	40.80
102	41.00
103	41.00
104	41.20
105	41.20
106	41.50
107	41.50
108	41.70
109	41.70
110	41.90
111	41.90
112	42.10
113	42.10
114	42.40
115	42.40
116	42.60
117	42.60
118	42.80
119	42.80
120	43.00
121	43.00
122	43.30
123	43.30
124	43.50

125	43.50
126	43.80
127	43.80
128	44.00
129	44.00
130	44.20
131	44.20
132	44.40
133	44.40
134	44.60
135	44.60
136	44.90
137	44.90
138	45.10
139	45.10
140	45.30
141	45.30
142	45.60
143	45.60
144	45.80
145	45.80
146	46.10
147	46.10
148	46.30
149	46.30
150	46.50
151	46.50
152	46.70
153	46.70
154	46.90
155	46.90
156	47.20
157	47.20
158	47.30
159	47.30
160	47.60
161	47.60
162	47.80
163	47.80
164	48.00
165	48.00
166	48.20
167	48.20
168	48.40
169	48.40

170	48.70
171	48.70
172	48.90
173	48.90
174	49.20
175	49.20
176	49.40
177	49.40
178	49.60
179	49.60
180	49.80
181	49.80
182	50.10
183	50.10
184	50.20
185	50.20
186	50.40
187	50.40
188	50.70
189	50.70
190	50.90
191	50.90
192	51.10
193	51.10
194	51.30
195	51.30
196	51.50
197	51.50
198	51.80
199	51.80
200	51.90
201	51.90
202	52.20
203	52.20
204	52.40
205	52.40
206	52.50
207	52.50
208	52.80
209	52.80
210	53.00
211	53.00
212	53.10
213	53.10
214	53.30

215	53.30
216	53.50
217	53.50
218	53.70
219	53.70
220	53.90
221	53.90
222	53.90
223	53.90
224	54.20
225	54.20
226	54.30
227	54.30
228	54.50
229	54.50
230	54.70
231	54.70
232	54.90
233	54.90
234	55.10
235	55.10
236	55.30
237	55.30
238	55.50
239	55.50
240	55.60
241	55.60
242	55.80
243	55.80
244	56.00
245	56.00
246	56.10
247	56.10
248	56.30
249	56.30
250	56.50
251	56.50
252	56.80
253	56.80
254	56.90
255	56.90
256	57.00
257	57.00
258	57.30
259	57.30

260	57.50
261	57.50
262	57.60
263	57.60
264	57.80
265	57.80
266	58.00
267	58.00
268	58.20
269	58.20
270	58.30
271	58.30
272	58.50
273	58.50
274	58.60
275	58.60
276	58.80
277	58.80
278	59.10
279	59.10
280	59.20
281	59.20
282	59.30
283	59.30
284	59.50
285	59.50
286	59.70
287	59.70
288	59.80
289	59.80
290	59.90
291	59.90
292	60.20
293	60.20
294	60.30
295	60.30
296	60.50
297	60.50
298	60.60
299	60.60
300	60.70
301	60.70
302	60.70
303	60.70

304	60.70
305	60.70
306	60.70
307	60.70
308	60.60
309	60.60
310	60.60
311	60.60
312	60.60
313	60.60
314	60.60
315	60.60
316	60.50
317	60.50
318	60.50
319	60.50
320	60.40
321	60.40
322	60.40
323	60.40
324	60.30
325	60.30
326	60.30
327	60.30
328	60.10
329	60.10
330	60.10
331	60.10
332	60.10
333	60.10
334	59.90
335	59.90
336	59.90
337	59.90
338	59.80
339	59.80
340	59.70
341	59.70
342	59.70
343	59.70
344	59.70
345	59.70
346	59.80
347	59.80

348	59.80
349	59.80
350	59.80
351	59.80
352	59.90
353	59.90
354	60.10
355	60.10
356	60.00
357	60.00
358	60.10
359	60.10
360	60.10
361	60.10
362	60.30
363	60.30
364	60.30
365	60.30
366	60.30
367	60.30
368	60.10
369	60.10
370	60.10
371	60.10
372	60.00
373	60.00
374	59.90
375	59.90
376	59.80
377	59.80
378	59.80
379	59.80
380	59.70
381	59.70
382	59.80
383	59.80
384	59.80
385	59.80
386	59.90
387	59.90
388	59.90
389	59.90
390	59.90
391	59.90

392	60.00
393	60.00
394	60.00
395	60.00
396	60.10
397	60.10
398	60.20
399	60.20
400	60.10
401	60.10
402	60.10
403	60.10
404	60.00
405	60.00
406	59.90
407	59.90
408	59.80
409	59.80
410	59.70
411	59.70
412	59.70
413	59.70
414	59.70
415	59.70
416	59.80
417	59.80
418	59.80
419	59.80
420	59.80
421	59.80
422	59.90
423	59.90
424	60.10
425	60.10
426	60.10
427	60.10
428	60.10
429	60.10
430	60.20
431	60.20
432	60.30
433	60.30
434	60.30
435	60.30
436	60.10

437	60.10
438	60.10
439	60.10
440	60.00
441	60.00
442	59.90
443	59.90
444	59.80
445	59.80
446	59.80
447	59.80
448	59.70
449	59.70
450	59.80
451	59.80
452	59.80
453	59.80
454	59.90
455	59.90
456	59.90
457	59.90
458	60.10
459	60.10
460	60.10
461	60.10
462	60.20
463	60.20
464	60.30
465	60.30
466	60.20
467	60.20
468	60.10
469	60.10
470	60.10
471	60.10
472	59.90
473	59.90
474	59.80
475	59.80
476	59.70
477	59.70
478	59.70
479	59.70
480	59.70
481	59.70

482	59.70
483	59.70
484	59.80
485	59.80
486	59.80
487	59.80
488	59.90
489	59.90
490	59.90
491	59.90
492	60.10
493	60.10
494	60.20
495	60.20
496	60.10
497	60.10
498	60.30
499	60.30
500	60.30
501	60.30
502	60.10
503	60.10
504	60.00
505	60.00
506	60.00
507	60.00
508	59.90
509	59.90
510	59.80
511	59.80
512	59.70
513	59.70
514	59.80
515	59.80
516	59.80
517	59.80
518	59.90
519	59.90
520	59.90
521	59.90
522	59.90
523	59.90
524	60.10
525	60.10
526	60.10

527	60.10
528	60.20
529	60.20
530	60.30
531	60.30
532	60.10
533	60.10
534	60.10
535	60.10
536	60.10
537	60.10
538	59.90
539	59.90
540	59.90
541	59.90
542	59.80
543	59.80
544	59.70
545	59.70
546	59.70
547	59.70
548	59.70
549	59.70
550	59.80
551	59.80
552	59.80
553	59.80
554	59.80
555	59.80
556	59.90
557	59.90
558	59.90
559	59.90
560	60.10
561	60.10
562	60.00
563	60.00
564	60.10
565	60.10
566	60.20
567	60.20
568	60.30
569	60.30
570	60.10

571	60.10
572	60.00
573	60.00
574	59.90
575	59.90
576	59.80
577	59.80
578	59.70
579	59.70
580	59.70
581	59.70
582	59.70
583	59.70
584	59.70
585	59.70
586	59.70
587	59.70
588	59.80
589	59.80
590	59.80
591	59.80
592	59.80
593	59.80
594	59.80
595	59.80
596	59.90
597	59.90
598	59.90
599	59.90
600	60.00
601	60.00
602	60.10
603	60.10
604	60.20
605	60.20
606	60.30
607	60.30
608	60.30
609	60.30
610	60.30
611	60.30
612	60.20
613	60.20
614	60.10

615	60.10
616	59.90
617	59.90
618	59.90
619	59.90
620	59.80
621	59.80
622	59.70
623	59.70
624	59.60
625	59.60
626	59.60
627	59.60
628	59.70
629	59.70
630	59.70
631	59.70
632	59.70
633	59.70
634	59.80
635	59.80
636	59.80
637	59.80
638	59.90
639	59.90
640	59.90
641	59.90
642	60.00
643	60.00
644	60.10
645	60.10
646	60.20
647	60.20
648	60.30
649	60.30
650	60.30
651	60.30
652	60.30
653	60.30
654	60.10
655	60.10
656	60.10
657	60.10
658	60.10

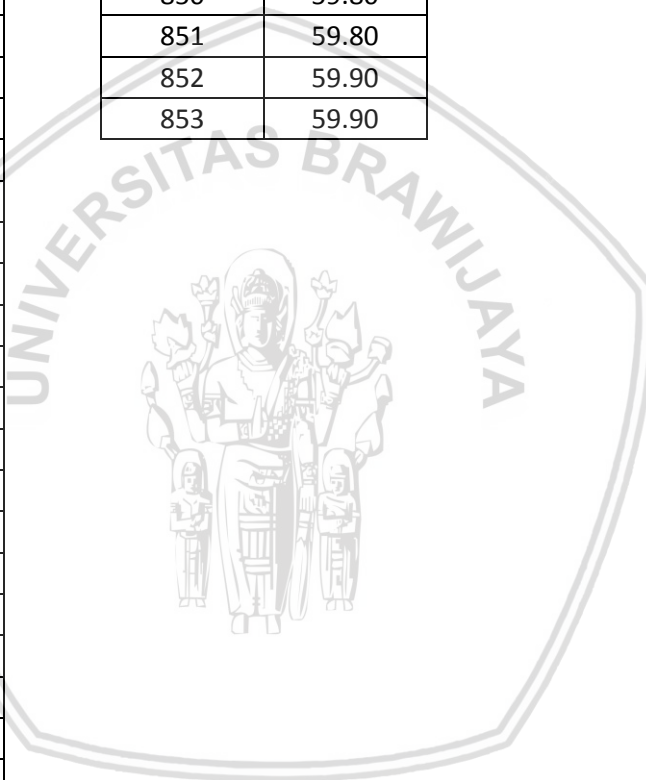
659	60.10
660	59.90
661	59.90
662	59.80
663	59.80
664	59.80
665	59.80
666	59.70
667	59.70
668	59.80
669	59.80
670	59.80
671	59.80
672	59.90
673	59.90
674	59.90
675	59.90
676	60.00
677	60.00
678	60.10
679	60.10
680	60.20
681	60.20
682	60.30
683	60.30
684	60.30
685	60.30
686	60.10
687	60.10
688	60.00
689	60.00
690	60.00
691	60.00
692	59.90
693	59.90
694	59.80
695	59.80
696	59.70
697	59.70
698	59.70
699	59.70
700	59.80
701	59.80
702	59.80
703	59.80

704	59.80
705	59.80
706	59.90
707	59.90
708	59.90
709	59.90
710	60.10
711	60.10
712	60.00
713	60.00
714	60.10
715	60.10
716	60.20
717	60.20
718	60.30
719	60.30
720	60.20
721	60.20
722	60.00
723	60.00
724	59.90
725	59.90
726	59.80
727	59.80
728	59.80
729	59.80
730	59.70
731	59.70
732	59.80
733	59.80
734	59.80
735	59.80
736	59.80
737	59.80
738	59.90
739	59.90
740	59.90
741	59.90
742	60.10
743	60.10
744	60.00
745	60.00
746	60.10
747	60.10
748	60.10

749	60.10
750	60.30
751	60.30
752	60.30
753	60.30
754	60.10
755	60.10
756	60.00
757	60.00
758	60.00
759	60.00
760	59.90
761	59.90
762	59.80
763	59.80
764	59.80
765	59.80
766	59.80
767	59.80
768	59.80
769	59.80
770	59.90
771	59.90
772	60.10
773	60.10
774	60.00
775	60.00
776	60.10
777	60.10
778	60.10
779	60.10
780	60.30
781	60.30
782	60.30
783	60.30
784	60.10
785	60.10
786	60.10
787	60.10
788	59.90
789	59.90
790	59.90
791	59.90
792	59.80
793	59.80

794	59.60
795	59.60
796	59.60
797	59.60
798	59.60
799	59.60
800	59.60
801	59.60
802	59.70
803	59.70
804	59.70
805	59.70
806	59.70
807	59.70
808	59.70
809	59.70
810	59.80
811	59.80
812	59.80
813	59.80
814	59.90
815	59.90
816	59.90
817	59.90
818	60.00
819	60.00
820	60.00
821	60.00
822	60.10
823	60.10
824	60.10
825	60.10
826	60.30
827	60.30
828	60.40
829	60.40
830	60.30
831	60.30
832	60.10
833	60.10
834	60.10
835	60.10
836	60.00
837	60.00

838	59.90
839	59.90
840	59.90
841	59.90
842	59.80
843	59.80
844	59.70
845	59.70
846	59.80
847	59.80
848	59.80
849	59.80
850	59.80
851	59.80
852	59.90
853	59.90





LAMPIRAN III

Data Sheet



